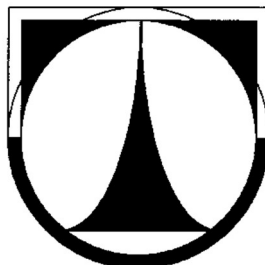




# **TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

FAKULTA STROJNÍ

Katedra vozidel a motorů



## **MĚŘENÍ MOMENTU NA VOLANTU VOZIDLA**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

David Forst

Leden 2012



# **TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

**FAKULTA STROJNÍ**

Katedra vozidel a motorů



## **MĚŘENÍ MOMENTU NA VOLANTU VOZIDLA MEASURING TORQUE ON THE STEERING WHEEL**

Bakalářská práce

KVM – BP – 243

David Forst

Vedoucí diplomové práce: Ing. Robert Voženílek Ph.D.

Konzultant diplomové práce: Ing. Ondřej Dráb

Počet stran: 46

Počet obrázků: 44

Počet příloh: 27

Počet výkresů: 1

Leden 2012



**Místo pro vložení originálního zadání DP (BP)**



**TÉMA:** Měření momentu na volantu vozidla

**ANOTACE:** Rozbor používaných typů mechanismů směrového řízení používaného u vozidel a rozbor způsobů měření momentu na volantu vozidla. Návrh metody měření momentu na volantu vozidla a jeho vyhodnocení. Následné doporučení pro řízení Steer-by-Wire z hlediska vytvoření umělého citu (přirozeného kontaktu řidiče s vozidlem).

**TÉMA:** Measuring torque on the steering wheel of the vehicle

**ANNOTATION:** Analysis of current types of directional control mechanisms used in vehicles and means of measuring torque on the steering wheel of the vehicle. Design methods for measuring torque on the steering wheel of the vehicle and its evaluation. Subsequent recommendations for steering Steer-by-Wire in terms of creating an artificial feeling (natural contact with the vehicle driver).

Desetinné třídění: (př. 621.43.01 - Teorie spalovacích motorů)

Zpracovatel: TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra vozidel a motorů

Dokončeno: 2012

Archivní označení zprávy:





## Prohlášení k využívání výsledků Bakalářské práce

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom(a) povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

V ..... dne .....

.....

podpis



## Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu diplomové práce Ing. Robertu Voženílkovi Ph.D. za konzultace a Ing. Ondřeji Drábovi za rady při tvorbě mé bakalářské práce. Rád bych také poděkoval všem, kteří mi dali cenné rady vedoucí ke zdokonalení mé práce.



## Věnování

Tuto Bakalářskou práci věnuji své rodině, za nemalou podporu jak finanční, tak psychickou.



## Obsah

<b>ÚVOD .....</b>	<b>9</b>
<b>1. TYPY MECHANIZMŮ SMĚROVÉHO ŘÍZENÍ AUTOMOBILŮ.....</b>	<b>10</b>
1.1. POSILOVAČE ŘÍZENÍ.....	10
1.1.1. <i>Hydraulické servořízení HPS</i> .....	10
1.1.2. <i>Elektrohydraulické servořízení EPHS</i> .....	11
1.1.3. <i>Elektrické servořízení EPS</i> .....	12
1.2. AKTIVNÍ MECHANIZMUS ŘÍZENÍ .....	12
1.3. STEER-BY-WIRE.....	14
1.4. BUDOUCNOST ŘÍZENÍ AUTOMOBILU (KONCEPTY ŘÍZENÍ) .....	16
1.4.1. <i>Mercedes</i> .....	16
1.4.2. <i>Citroen C5</i> .....	17
<b>2. PŘÍSTROJE A ZAŘÍZENÍ K MĚŘENÍ PARAMETRŮ NA VOLANTU .....</b>	<b>17</b>
2.1. SENZOR ATI 2140SE SERIES.....	18
2.2. SENZOR ŘÍZENÍ SENDEV 01027 SERIES .....	18
2.3. SENZOR KMT-CLS.....	19
2.4. DOPORUČENÝ SNÍMAČ .....	20
<b>3. POUŽITÉ ZAŘÍZENÍ PRO MĚŘENÍ .....</b>	<b>20</b>
3.1. MĚŘÍCÍ STANICE.....	20
3.2. SNÍMAČ ÚHLU OTÁČENÍ RBM 30 .....	21
3.3. SNÍMAČ TOČIVÉHO MOMENTU (HBM) VERZE T5 .....	22
3.4. KALIBRACE SNÍMAČE TOČIVÉHO MOMENTU.....	23
3.4.1. <i>Výpočet hodnot:</i> .....	24
3.5. ZÁSTAVBA .....	25
3.6. PARAMETRY TESTOVANÉHO VOZIDLA.....	26
<b>4. DRUHY JÍZDNÍCH ZKOUŠEK [12].....</b>	<b>26</b>
4.1. ČASTO POUŽÍVANÉ ZKOUŠKY OVLADATELNOSTI [12] .....	27
4.2. VÝBĚR ZKOUŠEK.....	27
4.2.1. <i>Kruhový test</i> .....	27
4.2.2. <i>Losí test</i> .....	29
4.2.3. <i>Harmonické otáčení volantu</i> .....	33



4.2.4. Moment na volantu při stojícím vozidle .....	34
4.2.5. Odbočení vozidla o 90° .....	36
4.2.6. Simulace jízdy po městě .....	39
<b>5. ODEZVA PRO STEER-BY-WIRE .....</b>	<b>41</b>
5.1. MĚŘENÍ PŘI RŮZNÉM ZATÍŽENÍ PŘEDNÍ NÁPRAVY VOZIDLA .....	41
5.2. DOPORUČENÍ PRO STEER-BY-WIRE .....	42
5.2.1. Pomocné zařízení pro řízení .....	43
5.3. DOPORUČENÍ PRO DALŠÍ ZÁVĚREČNÉ PRÁCE V OBLASTI ŘÍZENÍ .....	43
<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>44</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>46</b>

## Seznam symbolů a jednotek

a	Zrychlení	[m/s <sup>2</sup> ]
D	Šířka vozidla	[mm]
F	Síla	[N]
f	Frekvence	[Hz]
g	Gravitační konstanta	[m/s <sup>2</sup> ]
i	Převodový poměr	[1]
M	Moment	[Nm]
m	Hmotnost	[kg]
p	Tlak	[Pa]
P	Výkon	[W]
r	Poloměr	[m]
rpm	Otáčky za minutu	[1/min]
t	Čas	[s]
U	Napětí	[V]
v	Rychlost	[m/s]
β	Úhel otáčení	[°]
ω	Úhlová rychlost	[m/s]
Fly-by-Wire	elektronické řízení letadla	
Steer-by-Wire	elektronické řízení vozidla	
ABS	Anti-lock Braking – zabráňuje zablokování kola při brždění	
BMW	Bayerische Motoren Werke - Bavorské Motorové Závody	
DSC	Dynamic Stability Control - elektronická regulace jízdní stability	
EHK	Předpisy Evropské hospodářské komise	
ESP	Electronic Stability Programme - elektronický stabilizační systém	
GM	Generals Motors – výrobce automobilů	
HDD	Hard Disk Drive – pevný disk	
HTP	(High Torque Performance) motor s vysokým točivým momentem	
RS232	Komunikační rozhraní počítačů	
TUL	Technická Univerzita v Liberci	
USB	Komunikační rozhraní počítačů	
atd.	a tak dále	
např.	například	
obr.	obrázek	
viz	více na	

## Úvod

V bakalářské práci zaměřené na měření momentu na volantu je proveden rozbor současných typů mechanismů směrového řízení. Následně se zmiňuji o vizích řízení respektive o prvních prototypch automobilů využívající technologii Steer-by-Wire. Technologie Steer-by-Wire je zatím legislativními požadavky na řízení znemožněna. Výrobci však očekávají v brzké budoucnosti změnu a umožnění této technologie. Určitou podobnost lze vidět se systémem fly-by-wire, který se již několik desítek let používá u letadel, kde je bezpečnost rovněž na prvním místě. Uvedu několik již používaných snímačů od různých výrobců pro měření momentu na volantu.

Pro zástavbu do sloupku řízení byly použity snímače dostupné na Katedře vozidel a motorů, u kterých jsem shledal, že svými parametry jsou pro mé měření vyhovující.

Pro zjištění správnosti naměřených dat je nutno provést kalibraci snímače točivého momentu, pro který je potřeba upravit již používanou zkoušecí stanici.

Navrhnu redukci pro zkoušecí stanici, která byla zhotovena pro obdobné zařízení.

Dále bude probíhat montáž snímačů na sloupek řízení Škoda Roomster 1.6 HTP do předpřipraveného držáku pro inkrementální snímač a snímač momentu. Po zástavbě bude probíhat měření na vozidle podle mnou navrhnutých zkoušek.

Zkoušky budu navrhovat ze známých zkoušek ovladatelnosti a přizpůsobovat našim potřebám. Zkoušky budou ještě upraveny na základě vymezeného prostoru TUL.

Provedu měření a doporučím moment pro řízení typu Steer-by-Wire z hlediska vytvoření (umělého citu) přirozeného kontaktu řidiče s vozidlem.

## 1. Typy mechanismů směrového řízení automobilů

- Bez posilovače řízení
- S posilovačem řízení

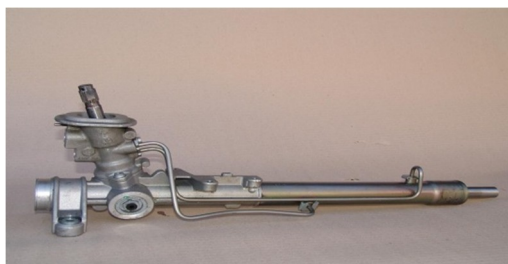
### 1.1. Posilovače řízení

Řízením s posilovačem je v dnešní době již běžně vybaveno skoro každé vozidlo. Posilovač řízení je pomocné zařízení snižující lidskou sílu na volantu řízení. Síla nutná k řízení, je od svalů řidiče a od zdroje energie přiváděna současně. Posilovače řízení jsou u některých kategorií vozidel předepsány legislativními požadavky (autobusy). Dalším legislativním požadavkem na posilovače řízení je, že musí být navrženy tak, aby i při jejich selhání zůstala zachována říditelnost vozidla. V současné době máme několik druhů posilovačů, přičemž se od hydraulických posilovačů přistupuje stále častěji k elektrickým, protože jsou energeticky výhodnější. [1][2]

- hydraulické servořízení HPS (Hydraulic Power Steering)
- elektrohydraulické servořízení EPHS (Electrical Hydraulic Power Steering)
- elektronické servořízení EPS (Electrical Power Steering)

#### 1.1.1. Hydraulické servořízení HPS

Přenos pomocné energie se provádí hydraulicky. Přídavný zdroj energie je zde lamelové (olejové) čerpadlo. Tlak oleje zajišťuje posilující účinky. Tlak kapaliny působí buď na pravé, nebo levé straně pracovního válce a vytváří hydraulickou pomocnou sílu. Spolupůsobí s mechanicky přenášenou silou řízení pastorkem na ozubenou tyč. Když se přestane volantem otáčet, zkrutná tyč a otočný šoupátkový ventil se vrátí do neutrální polohy. Řídicí šterbina k pracovním prostorům se uzavře, vratná šterbina se otevře. Olej proudí od čerpadla přes řídicí ventil zpět do zásobní nádržky. Použito například u Felicie a Octavie I. [1]

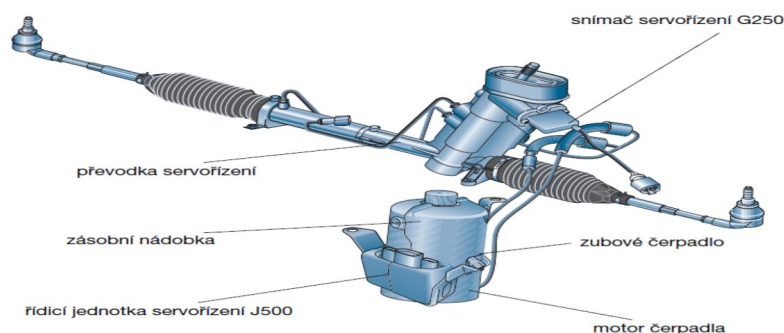


Obr. 1.1. Servořízení škoda Octavia I. Zdroj: <http://www.hp-servis.cz> [15]



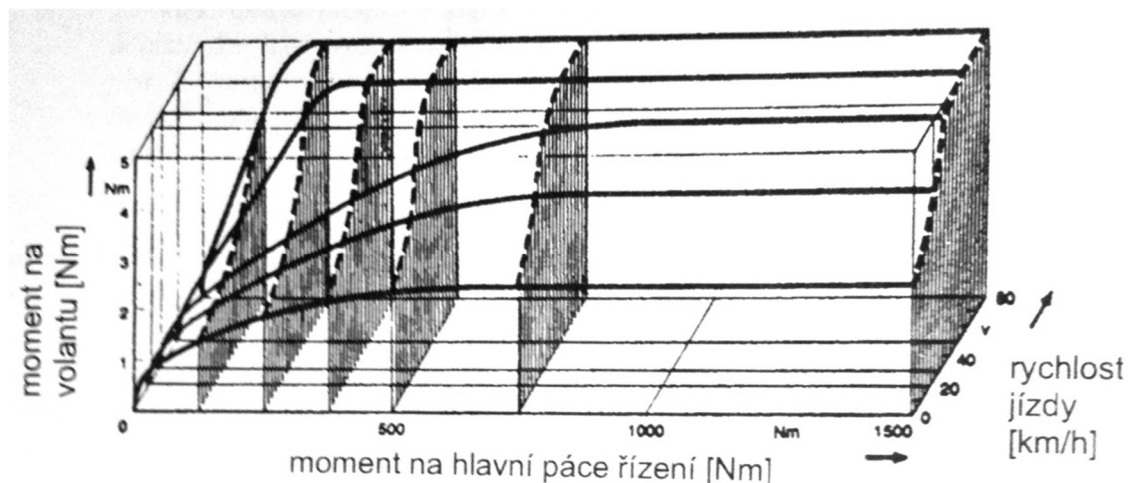
### 1.1.2. Elektrohydraulické servořízení EPHS

Znamená, že čerpadlo pro posilovací účinek není poháněno od klikového hřídele, ale elektromotorem. Velikost ovládacích sil je možno měnit podle naprogramované charakteristiky v závislosti na rychlosti jízdy. Velké posílení při parkování, malé posílení při velké rychlosti jízdy. Energie potřebná k posílení řízení je získána pomocí hydraulického čerpadla (zubového) poháněného elektromotorem. Síla pro podporu řízení je závislá na rychlosti otáčení volantem. Použití (Fabia, Octavia II, Roomster) [1]



Obr. 1.2. Elektrohydraulické servořízení. Zdroj: Příručka Škoda Roomster.[16]

Protože se elektrohydraulické řízení vyskytuje i na testovaném vozidle Škoda Roomster, přikládám ještě charakteristiku elektrohydraulického řízení LSA 075.

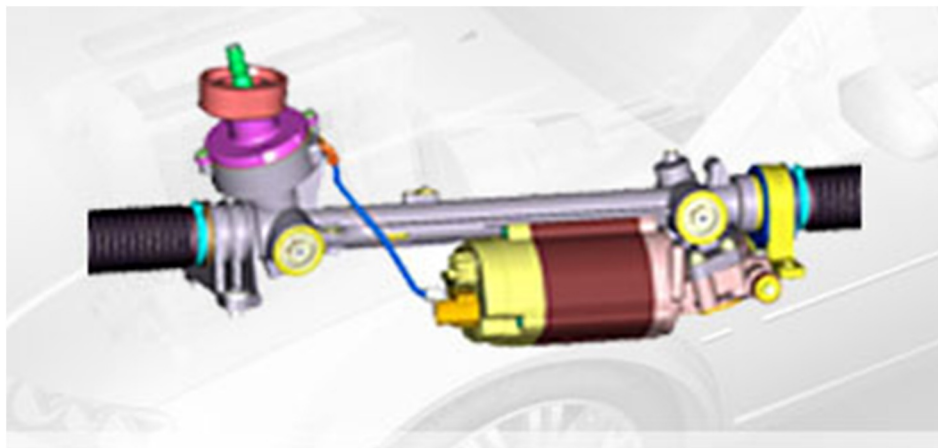


Obr. 1.3. Charakteristiky servořízení LSA 075. Zdroj: [13]

Na obrázku charakteristiky řízení je vidět změna posilovacího účinku, která má za následek zvýšení síly potřebné k otáčení volantu v závislosti na rostoucí rychlosti.

### 1.1.3. Elektrické servořízení EPS

Díky elektronickému kontrolnímu mechanismu a elektrickému servomotoru poskytuje elektrický posilovač řízení přesnější a bezpečnější jízdu, protože je schopen se přizpůsobit jízdním podmínkám. Míra posílení se mění v závislosti na rychlosti a pohodlí. Posilován je i návrat volantu do střední polohy, což zamezuje samovolným pohybům volantu. [1]



Obr. 1.4. Elektrické servořízení. Zdroj: [www.bosch.cz](http://www.bosch.cz) [3]

## 1.2. Aktivní mechanismus řízení

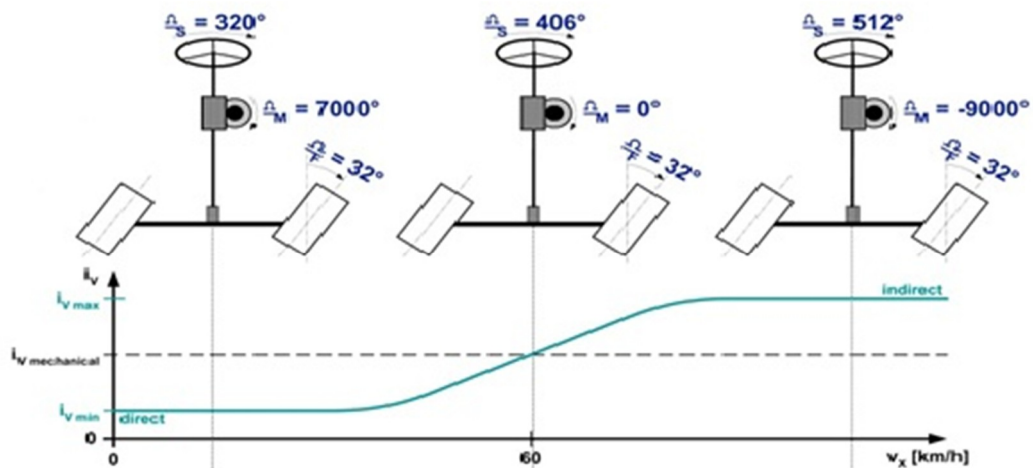
Systém aktivního řízení BMW je vývojovou spojnici mezi klasickým mechanickým řízením a jeho elektronickou podobou Steer-by-Wire. Aktivní řízení automaticky přizpůsobuje převod řízení rychlosti automobilu. V nižší rychlosti je převod menší a usnadňuje zatáčení a parkování v městském provozu. Při vyšších rychlostech je převod větší, což přispívá k směrové stabilitě. Místo asi tří otáček volantu, odpovídajícím konvenčnímu řízení, postačí u aktivního řízení k plnému přetočení z rejdu do rejdu dvě otáčky. Klíčovou roli hraje malá planetová převodka se dvěma vstupními a jedním výstupním hřídelem. Jeden ze vstupních hřídelů je spojený s volantem, zatímco druhý je poháněn elektromotorem přes samostatné šroubové soukolí. Elektromotor se otáčí oboustranně a podle jízdní situace zvětšuje nebo zmenšuje míru natočení řídicích kol. Úhel natočení výstupního hřídele se rovná počtu úhlů natočení obou vstupních hřídelů. Planetová převodovka je součástí posilovače řízení s proměnným účinkem, za nímž následuje klasická hřebenová převodovka řízení.



Obr. 1.5. Aktivní mechanismus řízení.

Zdroj: [www.bosch.cz](http://www.bosch.cz) [3]

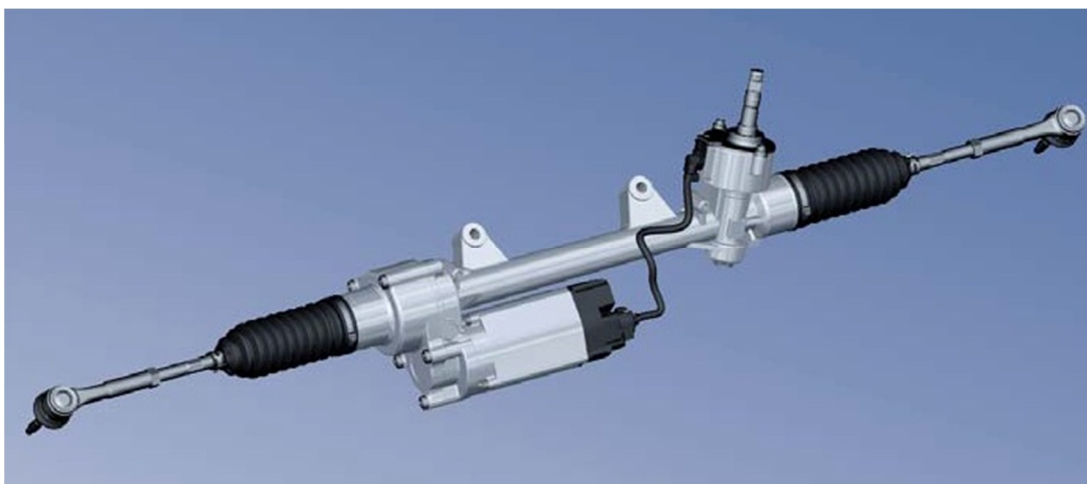
System má vlastní řídicí jednotku, která je schopná měnit na základě údajů z řady čidel nejvhodnější nastavení až 100 krát za sekundu. Mezi další výhody patří možnost využití dalších elektronických systémů ke stabilizaci vozidla: ABS, ESP, DSC (Dynamic Stability Control) atd. U konvenčního řízení je převod řízení většinou kolem 18:1. Aktivní řízení BMW mění tento poměr mezi 10:1 (vstupní hřídel z elektromotoru se otáčí ve smyslu otáčení volantu) a 25:1 (elektromotor pracuje proti smyslu otáčení volantu). Při dálniční rychlosti a velkém převodu roste ovládací síla na volantu, řidič to vnímá jako citelné zlepšení jízdní stability. [1][3]



Obr. 1.6. Změna převodového poměru  $i_v$  mezi úhlem natočení volantu  $\Omega_S$  a středním úhlem natočení předních kol  $\Omega_F$  v závislosti na rychlosti jízdy  $v_x$  pro aktivní bezpečnost BMW. Při úhlu natočení elektromotoru  $\Omega_m = 0^\circ$  nepřevodový poměr  $i_v$  roven mechanickému převodu  $i_{v \text{ mechanical}}$  pro rychlost jízdy  $v_x = 60 \text{ km/h}$ . Zdroj: [www.bosch.cz](http://www.bosch.cz) [3]

### 1.3. Steer-by-Wire

Steer-by-Wire, v doslovném překladu (řízení po drátě), nám umožňuje ovládání řízení čistě jen elektromotory. To nám umožňuje celou řadu výhod oproti předchozí koncepci řízení. Výrazné zlepšení jak komfortu řízení automobilu, tak nám umožní i změnu v interiéru do nevídaných podob.



Obr. 1.7. Steer-by-Wire. Zdroj: [www.zf.com](http://www.zf.com) [14]

V praxi Steer-by-Wire znamená rozpojení mechanického spojení mezi volantem a koly řízené nápravy. K volantu se připojí senzor natočení a k řízené nápravě se připojí elektromotor a kontrolní senzor natočení kol.

Jedním z možných řešení řízení více náprav je aplikace technologie Steer-by-Wire, která zcela nahrazuje mechanickou vazbu mezi volantem a směrově řízenými koly vazbou elektronickou. Stejně jako u dalších vyspělých systémů vozidla je i zde využito přesné elektroniky s řídicí jednotkou komunikující se senzory s akčními členy.

Současné bezpečnostní předpisy a legislativní normy aplikaci elektronického řízení Steer-by-Wire vylučují z běžného provozu na pozemních komunikacích. Systémy řízení Steer-by-Wire jsou proto omezeny pouze na prototypy a experimentální vozidla. V praxi tedy zatím nelze jejich výhod využít.

Bezpečnostní rizika je však možné snižovat použitím záložního systému, jako je tomu u technologie Fly-by-Wire používané již řadu let v letecké dopravě, kde je bezpečnost rovněž na prvním místě. Zálohované systémy by měly zaručit požadovanou spolehlivost a zabezpečit bezporuchové ovládání vozidla. V nejbližší době by se měla platná legislativa změnit a umožnit zavést Steer-by-Wire do běžného provozu.[1][3]

**Výhody Steer-by-Wire:**

- Zjednodušení montáže a možnost nové modulární koncepce.
- Umožňuje použití další generace elektronických systémů, které budou řízeny nejrůznějšími algoritmy, jako jsou ESP, parkovací asistent, varovné systémy při vyjetí z pruhu Lane-keeping atd.
- Vyšší bezpečnost, protože nehrozí, že při srážce dojde k vniknutí řídící tyče do prostoru řidiče a jeho poranění.
- Zcela elektrický systém řízení umožňuje proměnný úhel natočení kol automaticky přizpůsobovaný potřebám řidiče a rychlosti vozidla.
- Větší volnost při navrhování vnitřního prostoru automobilu. [1][3]

**Nevýhody:**

- Nebezpečí selhání systému, které by vedlo ke ztrátě kontroly řidiče nad vozidlem. Pokud by došlo k poškození kterékoliv části systému směrového řízení, došlo by k ohrožení všech účastníků silničního provozu. Řešením je zdvojení okruhu jako je například u letadel (Fly-by-Wire).
- Možnost napadení systému viry.
- Nutnost zpětné vazby. Řidič musí cítit reakce vozidla proto je potřeba dodatečně konstrukčně vyřešit vytváření umělého odporu na volantu. Pokud by tak nebylo učiněno, řidič by snadno dostával vozidlo do kritických situací, aniž by to věděl. To by mohlo vést až k vážné dopravní nehodě.
- Mechanické řídící systémy jsou považovány za bezpečné. Oproti tomu elektronicky řízený systém může selhat, aniž by předtím vykazoval nějaké chyby. Proto jsou považovány za méně bezpečné.
- Na řízení se kladou zvýšené nároky také z hlediska bezpečnosti. Tomu odpovídá i náročnost veškerých kontrolních (diagnostických) přístrojů a opravárenských i údržbářských prací, které by měl vždy provádět odborník. [1][3]

## 1.4. Budoucnost řízení automobilu (koncepty řízení)

Zdá se, že volant časem ustoupí joystickům. Vývojové oddělení Oldsmobilu koncernu GM umožnilo již na počátku 60. let novinářům zkušební jízdu s řízením a změnou rychlosti pomocí krátké páčky v loketní opěrce mezi sedadly. V polovině 90. let se obdobnou cestou vydal Saab, těžící ze zkušeností s ovládáním stíhaček. Následují je i další výrobci. [4]



Obr. 1.8. Řízení koncernu GM v 60let.

Zdroj: <http://veteran.auto.cz/> [4]

### 1.4.1. Mercedes

Mercedes-Benz F200 představený na autosalonu v Paříži v roce 1996. patřil mezi nejvýznamnější novinky. Na palubě F 200 je vidět průkopnická představivost. Kontrolní systém, který umožňuje řidiči ovládat všechny pohyby vozu pomocí tzv. boční tyče umístěné v interiéru obložení dveří a středové konzoly. Chcete-li řídit auto, řidič natáčí postranní tyče doleva nebo doprava. Pro brzdění se pohybuje zpět a vpřed k urychlení. [5]



Obr. 1.9. Koncept řízení Mercedes F200 v roce 1996 Zdroj:

<http://www.ultimatecarpage.com> [5]



### 1.4.2. Citroen C5

Všechny hlavní ovládací funkce Citroenu C5 jsou soustředěny do volantu, který obsahuje ovladače řízení, brzd a akcelerace. Ve voze vůbec nejsou pedály. Použití technologie umožňuje vzhledem k odstranění mechanických dílů (jako jsou pedály, sloupek řízení atd.) nabídnout větší volnost při navrhování interiéru. Prvky řízení umístěné na volantu nabízejí lepší ergonomii a jednoduché ovládání, z čehož plyne rychlejší provedení požadavku řidiče a příkladná bezpečnost.

Pravý nebo levý palec může snadno dosáhnout na páčky akcelerace, které jsou umístěné po obou stranách volantu před řidičem. Použití dvou páček je nezbytné, aby mohly být při akceleraci současně aktivovány prvky osvětlení vlevo nebo stěrače, ostřikovače světlometů či houkačka vpravo.

K dispozici je rovněž automatický tempomat pro udržování požadované rychlosti vozidla a zvýšení pohodlí jízdy, díky němuž není nutno nepřetržitě držet jednu z obou páček ve stisknuté poloze. Tempomat se vypne při brzdění nebo při akceleraci.

Brzdění se provádí pomocí spínačů na obou koncích volantu. Tyto ovladače brzd jsou ovládány levým nebo pravým ukazováčkem řidiče. [6]



Obr. 1.10. Koncept řízení Citroen C5. Zdroj: [www.auto.cz](http://www.auto.cz) [6]

## 2. Přístroje a zařízení k měření parametrů na volantu

V dnešní době existuje široké spektrum měřících přístrojů. Každé z nich má samozřejmě svoje výhody i nevýhody. Některé vynikají možností zabudování do širokého spektra druhů automobilů a jiné jsou omezeny možnostmi použití.

## 2.1. Senzor ATi 2140SE SERIES

Senzory namáhání řízení společnosti ATi jsou používány k měření točivého momentu volantu. Senzor vysílá signál do přenosného přijímače napájeným 9V baterií. Senzor je rychle a jednoduše připojen k volantu a nevyžaduje žádné úpravy na vozidle. Přijímač vytváří analogový výstup pro připojení k nahrávacímu zařízení. Je vysoce spolehlivý, odolný proti prostředí a trvanlivý. Systém může být použit skoro v každém prostředí a je odolný proti otřesům, vibracím a extrémním podmínkám. Systém nepotřebuje prakticky údržbu a může pracovat po několik let bez závad. Systém je ověřen jak na vojenské technice, tak na závodních automobilech. Frekvence snímání hodnot až 900Hz. Pracovní teplotní rozsah -20 až 60°C. [8]



*Obr. 1.11. Senzor ATi 2140SE SERIES na vozidle Ford. Zdroj: [www.atitelemetry.com/](http://www.atitelemetry.com/) [8]*

## 2.2. Senzor řízení Sendev 01027 series

Snímač Sendev 01027 series řídící síly byl navržen pro vyhodnocení řídícího momentu u vozidel s airbagem nevybavených automobilů. Je určen pro nové a již existující systémy řízení používané na automobilech, nákladních vozech, autobusech a manipulačních strojích. Kvantitativní vyhodnocení systému řízení, geometrie řízení a bezpečnostních faktorů se dějí v tomto zařízení. Řídící senzor je vybaven 14“ volantem. Měřící zařízení je připevněno na volant pomocí tří bodové upínací sestavy. Nevýhodou je omezení v používání páček pod volantem, které je s touto nástavbou obtížné. [9]





Technické údaje:	
Přesnost	$\pm 1\%$
Pracovní teplotní rozsah	$-20 - 120^{\circ}\text{C}$
Napájení	20V
Přenos signálu	Dvojice kroužků

Obr. 1.12. Senzor Sendev 01027 series. Zdroj: <http://www.sendev.com> [9]

## 2.3. Senzor KMT-CLS

Nový senzor KMT-CLS, který je konstruován pro aplikování na jakýkoliv automobil nebo komerční dopravní prostředek. KMT – CLS senzor je použitelný k měření točivého momentu řízení v rozsahu  $\pm 100\text{Nm}$  nebo  $\pm 200\text{Nm}$ . Rozsah natočení řízení  $\pm 1340^{\circ}$ . Vyhodnocení výstupem CAN dosahuje rychlosti otáčení volantu až ( $\pm 1000^{\circ}/\text{s}$ ). Řídící jednotka poskytuje volně konfigurovatelný CAN výstup současně pro přenos všech hodnot a dvou analogových výstupů pro úhel otáčení a točivý moment. Jedná se o absolutní snímač polohy. Všechny prvky multifunkčních volantů se mohou zachovat, protože není třeba žádná změna na původním volantu. Napájení celého systému je z řídící jednotky a může být napájena 9V nebo 36V. [7]



Obr. 1.13. Ukázka senzoru KLT-CLS a jeho montáže na vozidlo Audi. Zdroj: [www.kmt-gmbh.com](http://www.kmt-gmbh.com) [7]

## 2.4. Doporučený snímač

Ze všech snímačů, které jsem dohledal, shledávám snímač KLT-CLS jako nejvhodnější. Snímač lze upevnit na širokou škálu automobilů. Vyznačuje se velkou schopností k měření všech údajů od momentu otáčení přes úhel otáčení až k rychlosti otáčení. Vše je zabudováno v jednom kompaktním a poměrně malém zařízení, u kterého je velmi jednoduchá zástavba do sloupku řízení a není potřeba přidání dalších snímačů a řešit jejich upevnění na sloupku řízení. Snímač disponuje dostatečnými rozsahy měření. Vozidlo bude schopno jezdit bez problémů po komunikacích, neboť nebudou, jako v mém případě, odstraněny páčky pod volantem (blinkr, stěrače, atd.). Mezi klady patří i možnost zapojení snímače do stávající stanice používané na Katedře vozidel a motorů GMCplus. V neposlední řadě bude ve vozidle zaručena bezpečnost, protože nebude odstraněn airbag z volantu vozidla jako v mém případě.

## 3. Použité zařízení pro měření

Pro měření jsem použil snímače používané na Katedře vozidel a motorů. Použil jsem tenzometrický snímač točivého momentu od firmy Hottinger typ T5 s rozsahem  $\pm 50\text{Nm}$  a elektromagnetický inkrementální snímač úhlu otáčení od firmy Renishaw typ RMB 30. Oba snímače byly připojeny do měřicí stanice MGCplus.

### 3.1. Měřicí stanice

Pro měření jsem využil stanici používanou Katedrou vozidel a motorů od firmy Hottinger Baldwin Messtechnik (HMB) typ MGCplus. Jedná se o univerzální modulární systém pro vícekanálová dynamická i statická měření. Podporuje širokou paletu snímačů a velké množství výstupů (např. USB, RS232, atd.). Umožňuje záznam na HDD nebo flashdisk. Měření byla prováděna s frekvencí záznamu měřených hodnot 300Hz. [10]

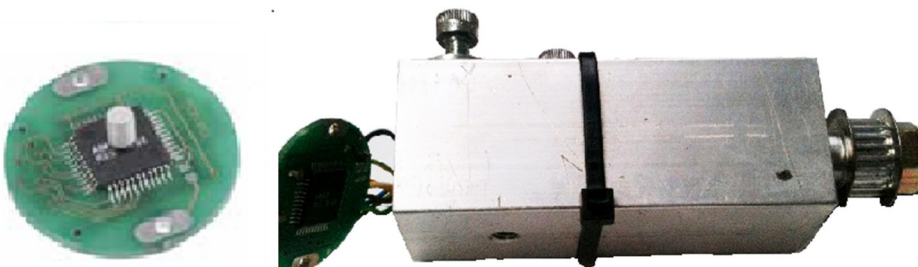


*Obr. 1.14. Měřicí stanice MGCplus ve vozidle připojená k Notebooku.*

Externí zdroj napájení se skládal ze dvou propojených gelových baterií 12V, kde přes inventar byl převeden stejnosměrný proud na střídavý a tím získán výstup 230V pro napájení notebooku a měřicí stanice MGCplus.

### 3.2. Snímač úhlu otáčení RBM 30

Měření úhlu otáčení probíhalo pomocí elektromagnetického inkrementálního snímače, vyrobeného na Katedře vozidel a motorů, jehož základ tvoří čip a magnet od firmy Renishaw (typ RMB 30). Pomocí snímací technologie s Hallovým efektem se snímač skládá z magnetického budiče a odděleného tělesa snímače. Otáčení rotoru je snímáno speciálním čipem uvnitř pláště snímače, kde je zpracováno na požadovaný typ výstupního signálu. Rychlost a zrychlení natočení volantu dostáváme postupnými derivacemi polohy natočení volantu v závislosti na čase. Snímač pracuje s  $2^9$  (= 512) impulsy na otáčku při použití náběžné i sestupné hrany. Jelikož je použit převod mezi snímačem a tyčí řízení  $i = 3$ , získáváme na jednu otáčku volantem 1536 impulsů. [11]



*Obr. 1.15. Použitý snímač RBM 30. Zdroj: <http://www.rls.si> [11]*

### 3.3. Snímač točivého momentu (HBM) verze T5

Paleta snímačů momentu firmy Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH (HBM) zahrnuje snímače jak pro měření na otáčející se sestavě tak i pro aplikace pevné. Snímače pro otáčející sestavy užívají pro přenos z rotující části kroužkové sběrače nebo bezkontaktní telemetrii. Pro zpracování signálu momentu a otáček je k dispozici řada měřících zesilovačů i software. Snímač točivého momentu T5 využívá k zapojení do sestavy svěrné spojení. Maximální zatížení snímače T5 odpovídá  $\pm 50\text{Nm}$ . Měření se uskutečňuje přes kroužkové sběrače. [10]

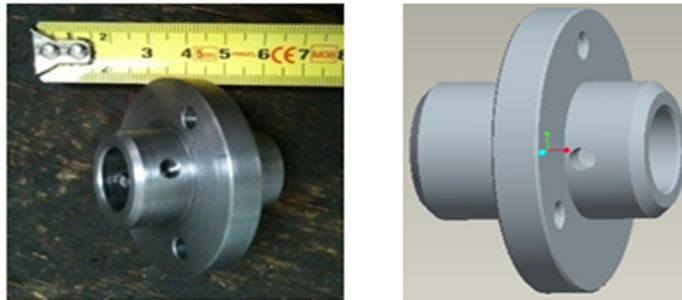


Obr. 1.16. Senzor točivého momentu T5. Zdroj: [www.hbm.cz](http://www.hbm.cz) [10]

Technické údaje:	
Přesnost	1%
Maximální moment	$\pm 50\text{Nm}$
Jmenovitá citlivost signálu	2mV/V
Tolerance	$\pm 0,2\%$
Referenční teplota měření	23°C
Teplotní rozsah měření	+10...+60°C
Maximální dovolené otáčky	4000 rpm
Hmotnost	0,6 kg

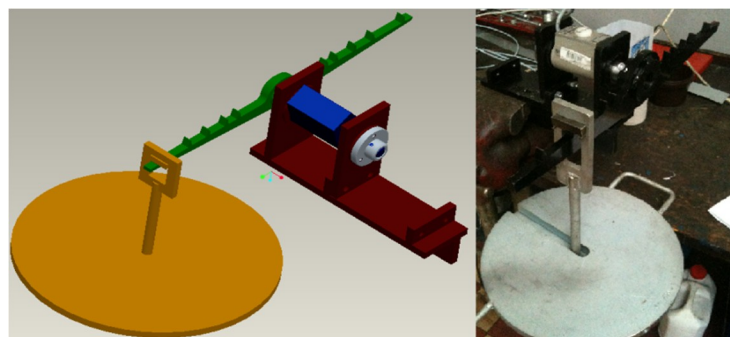
### 3.4. Kalibrace snímače točivého momentu

Snímač točivého momentu T5 jsem kalibroval na předpřipravené stanici, kde jsem musel pro upevnění snímače zkonstruovat redukci průměru, protože stanice byla zkonstruována pro odzkoušení jiného snímače (senzoru). Snažil jsem se navrhnout jednoduše vyrobitelnou redukci. Výsledkem je výkres v příloze č. 30. Redukce průměru byla následně vyrobena a úspěšně použita pro odzkoušení snímače.



Obr. 1.17. Redukce průměru.

Pro představu jsem vymodeloval celou sestavu zkoušecího zařízení v softwaru ProE ve 3D (viz obr. 1.16.). Na obrázku je vidět stanice pro odzkoušení snímače rudě červenou barvou, v něm je světle šedivou barvou znázorněna mnou navržená redukce průměru, připevněna třemi šrouby M5 po 120° ke zkoušecí stanici a dvěma zápustnými šrouby M5 k hřídeli snímače točivého momentu po 180°. Modře je znázorněn snímač točivého momentu, který je na druhé straně uložen v ložisku přes redukci, na které je připojeno vahadlo. Redukce je spojena se snímačem přes čtyři zápustné šrouby M5. Vahadlo (světle zelené) je připevněno třemi šrouby M8 k druhé redukci. Vahadlo bylo postupně zatěžováno váhou 10 a 20kg (žlutě) v definovaných vzdálenostech od osy otáčení, po obou stranách.



Obr. 1.18. Ilustrační obrázek zkoušecí stanice točivého momentu.

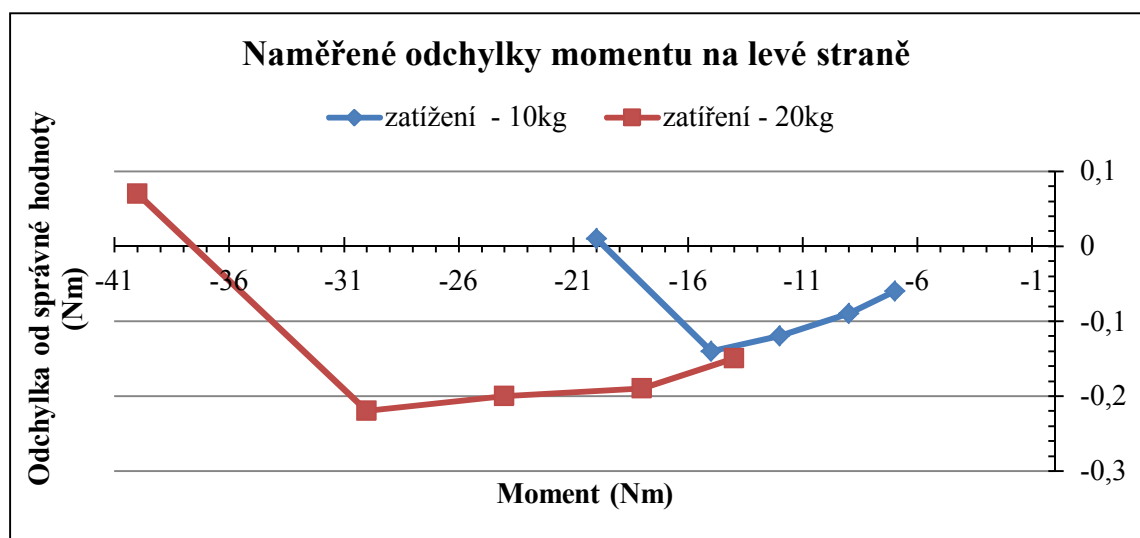
### 3.4.1. Výpočet hodnot:

Výpočet momentu  $M$  je dán vztahem:  $M = F * r$  (Nm) (1)

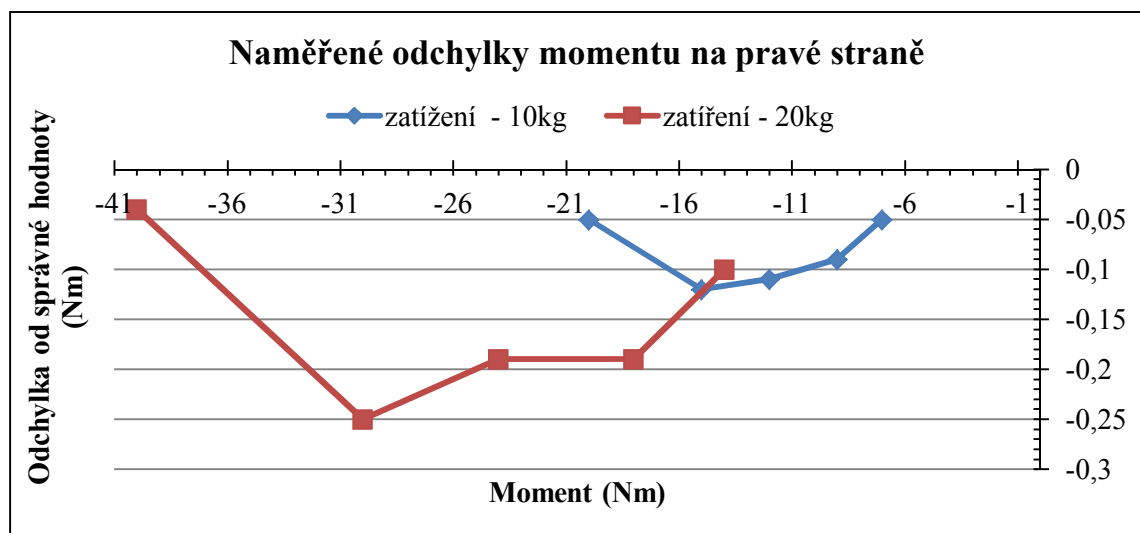
Výpočet síly  $F$  je dán vztahem:  $F = m * g$  (N) (2)

Přesnost daná výrobcem 1% odpovídá síle na daném snímači T5:  $50 * 0,01 = 0,5 \text{ Nm}$  (3)

Velikost poloměru  $r$  je dána vzdáleností od osy otáčení. Naměřené hodnoty na pravém a levém rameni přikládám v přílohách [1] a [2]. Pro přehlednost vkládám jen dva grafy. První graf znázorňuje odchylky měření při zatížení na levé straně a druhý graf na pravé straně vahadla.



Obr. 1.19. Odchylky momentu na levé straně.



Obr. 1.20. Odchylky momentu na pravé straně.



Výsledkem přezkoušení snímače točivého momentu zjišťujeme, že snímač splňuje přesnost danou výrobcem 1%.

### 3.5. Zástavba

Snímač otáček je připevněn na pravé straně vedle tyče řízení ve vzdálenosti os 60mm. Upevnění je přes dva šrouby M5. Přes řemenový převod je snímač otáček spojen ozubeným kolem, které je pevně spojeno s řídící tyčí. Pomocí řemenového převodu ( $i = 3$ ) dochází ke zpřesnění měření úhlu otáčení volantu. Dostáváme tedy 3x více impulzů ( $=1536$ ) na jednu otáčku volantu. Na konci tyče řízení je připevněna přesná redukce průměru na průměr snímače točivého momentu. Snímač je ještě připevněn železným páskem, který je přitažen stahovacím páskem k tyči řízení. Spoj nevyniká tuhostí, ale pro naše účely je dostačující, neboť síly jsou zde velmi malé. Na druhou stranu snímače točivého momentu je nasazen duralový válec, který je pomocí dvou šroubů pevně spojen s hřídelí točivého momentu. Na duralový válec je pomocí dvou šroubů připevněn volant, ze kterého je odstraněn střed (airbag a klakson). Pro větší představu vkládám obrázky s postupnou montáží, kterou jsem prováděl na testovaném vozidle Škoda Roomster 1.6HTP.



*Obr. 1.21. Zástavby snímačů na vozidle Roomster.*

### 3.6. Parametry testovaného vozidla

- Na vozidle Škoda Roomster 1.6 HTP 77kW jsou obuty pneumatiky Dunlop 195/55 R15 85V. Nahuštěné podle výrobce vozidla, tedy přední 240kPa (2.4 bar) a zadní 210kPa (2.1 bar).
- Z nastavení snímače otáček víme, že úhel otáčení z jedné krajní polohy do druhé odpovídá 956°
- Z používaného senzoru točivého momentu je známo od výrobce, že nejvyšší hodnoty nepřesáhnou  $\pm 50\text{Nm}$ .
- Snímač otáček ukazuje hodnotu při otáčení doprava kladně, při otáčení doleva záporně.
- Snímač momentu ukazuje kladné hodnoty při otáčení doprava a záporné při otáčení doleva.
- Měření rychlosti je za použití tachometru vozidla.

## 4. Druhy jízdních zkoušek [12]

**Čistě subjektivní hodnocení** – jízdní vlastnosti vozidla posuzuje řidič, který slouží jako „univerzální měřicí přístroj“. Reprodukovatelnost a přesnost je značně omezena.

**Subjektivní zkoušky ovladatelnosti** – řidič projíždí vozidlem předem kužely vytyčenou dráhu, ze které nesmí vybočit. Ovladatelnost je hodnocena podle rychlosti jízdy a dalších měřených údajů např. (moment, úhel a rychlost otáčení volantu, atd.)

**Objektivní zkoušky ovladatelnosti** – měří se chování samotného vozidla (vliv řidiče je vyloučen). Vlastnosti vozidla se posuzují měřením odezev vozidla na definované ovládací úkoly. Tyto zkoušky jsou reprodukovatelné. Řidič je nahrazen „řídícím strojem“.



## 4.1. Často používané zkoušky ovladatelnosti [12]

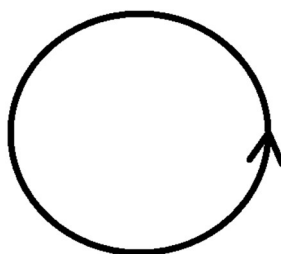
- Brzdění v přímé jízdě
- Ustálená jízda po kruhové dráze s konstantním natočením volantu
- Impulsové natočení volantu
- Harmonické natáčení volantu
- Změna hnací síly při zatáčení
- Brzdění při zatáčení
- Citlivost na boční vítr při fixovaném volantu

## 4.2. Výběr zkoušek

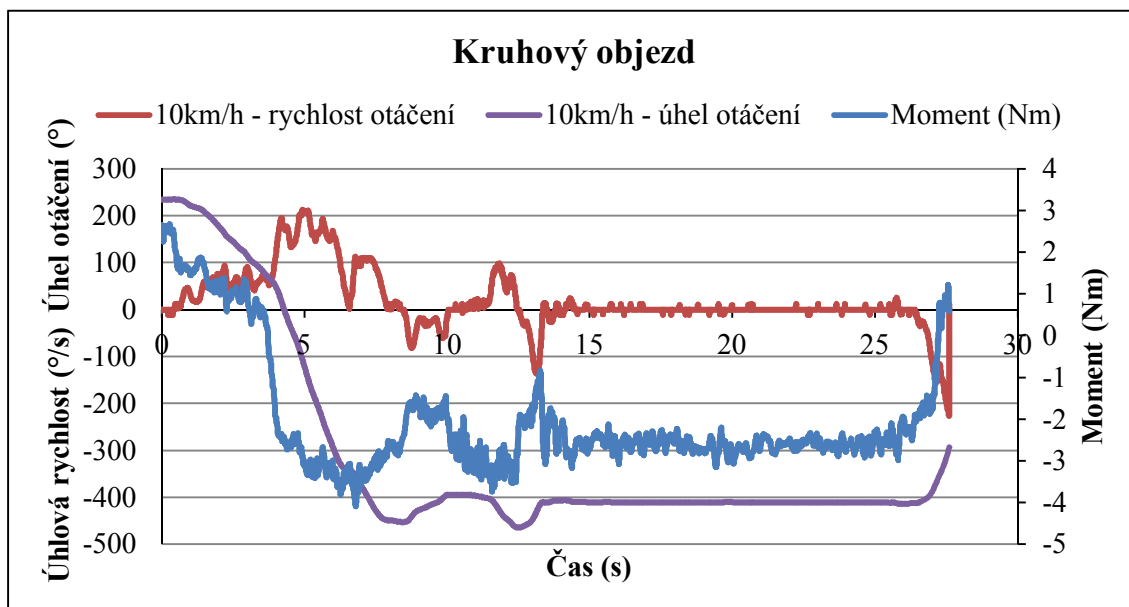
Ze všech zkoušek ovladatelnosti jsem vybral zkoušku po kruhové dráze s konstantním natočením volantu, impulsové otáčení volantu neboli „Losí test“, harmonické natáčení volantu, simulaci odbočení vlevo a vpravo. Ještě přidávám zkoušku otáčení volantu na stojícím vozidle a zkoušku simulace jízdy po městě. V grafech budu znázorňovat jednu nebo maximálně dvě rychlosti z důvodu čitelnosti. Ostatní rychlosti budou v přílohách.

### 4.2.1. Kruhový test

Tento test jsem vybral z důvodu častého výskytu kruhového objezdu ve městech, tím se stává tento manévr pro řidiče stále častější a lze zde získat moment, který řidič svou silou vyvíjí na volant vozidla v běžném městském provozu. Kruhový test je projížděn v rychlostech 10, 20, a 30km/h Ostatní grafy v přílohách č. [3 – 4]

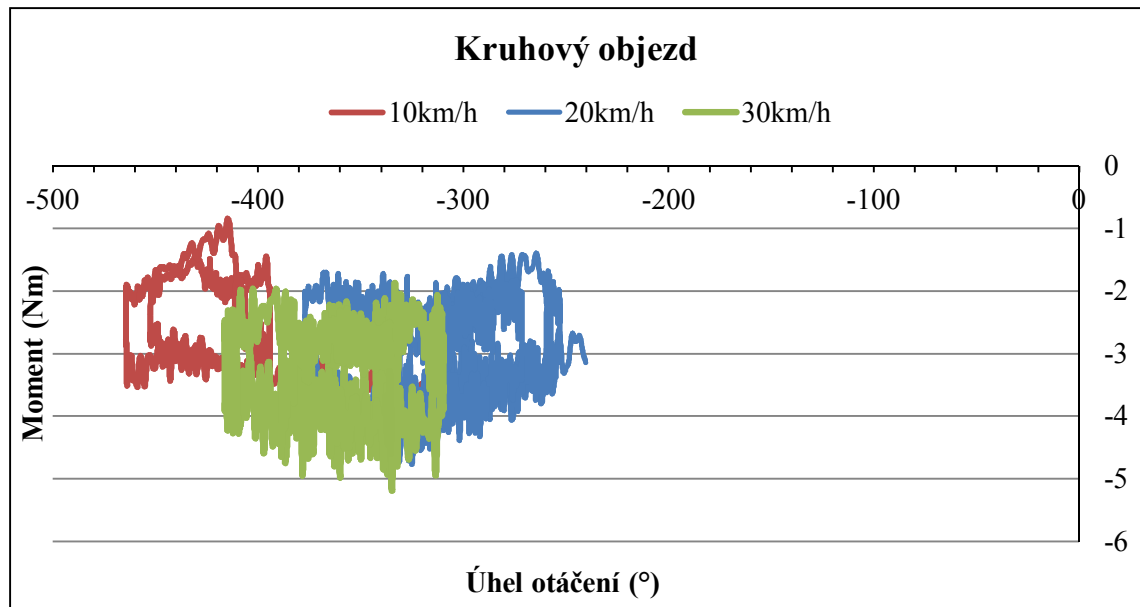


Obr. 1.22. Ustálená jízda po kruhové dráze “kruhový objezd”.



Obr. 1.23. Kruhový objezd v 10km/h.

Pokud se podíváme na graf závislosti momentu, úhlu a rychlosti otáčení v závislosti na čase, moment špičkově dosáhl hodnoty  $-4.1\text{Nm}$ . S následnou přibližně konstantní hodnotou  $-2.8\text{Nm}$ . Na úhlu otáčení dále vidíme, že natočení volantu na požadovaný průměr kruhového objezdu dosahuje až  $-464^\circ$  a následně jeho konstantní hodnota  $-411^\circ$  po dobu objíždění objezdu až do zastavení a narovnání volantu do přímého směru. Rychlost otáčení volantu zde dosahuje špičkově až  $205^\circ/\text{s}$ , která po nastavení požadovaného úhlu je nulová. Pokud není nulová, ukazuje korekce volantu pro vytočení na kruhovém objezdu to je dáno Subjektivní zkouškou ovladatelnosti a tato chyba se vyskytuje i v ostatních grafech. Průměr kruhového objezdu byl 15m. Na grafu je vidět, že po natočení volantu na konstantní úhel otáčení (rádius kruhového objezdu) je i moment konstantní. Pokud by nebyl konstantní, značilo by to nutné korekce volantu. Pokud si prohlédneme grafy všech měřených rychlostí, vidíme, že moment dosahoval špičkově od  $-4.1$  do  $-5.2\text{Nm}$ .

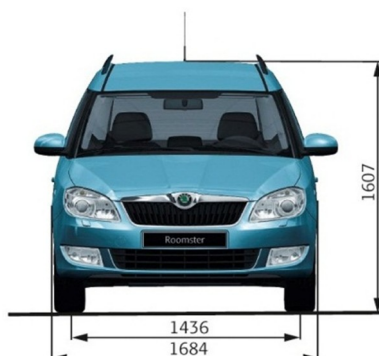


Obr. 1.24. Kruhový objezd.

Na grafu jsou vidět tři oblasti, kde každá oblast představuje jinou rychlost. Jde zde určit průměrná síla, která odpovídá 3Nm. Úhel otáčení se špičkově pohybuje od  $-376^\circ$  do  $-464^\circ$ . Rychlost otáčení volantem dosahuje špičkových hodnot od  $200^\circ/\text{s}$  do  $205^\circ/\text{s}$ .

## 4.2.2. Losí test

Mezi příklady využití v městském provozu je například nutnost se vyhnout nečekané překážce, jako je nečekané vyjetí zaparkovaného automobilu podél silnice. To vyžaduje rychlou reakci řidiče pro rychlý úhybný manévr, zvláště pokud je v protisměru jedoucí automobil. Podle této zkoušky lze zjistit extrémní hodnoty v běžném městském provozu. Nejedno auto se právě při tomto testu převrátilo viz. [www.Novinky.cz](http://www.Novinky.cz) nebo [www.youtube.com](http://www.youtube.com). Tomuto problému může zabránit systém ESP, který byl v mém případě vypnutý.



Obr. 1.25. Škoda Roomster. Zdroj: [www.skoda-auto.cz](http://www.skoda-auto.cz)[17]

Šířka dráhy (D) není vždy stejná.

Šířka vozu Škoda Roomster:  $D=1648\text{ mm}$ .

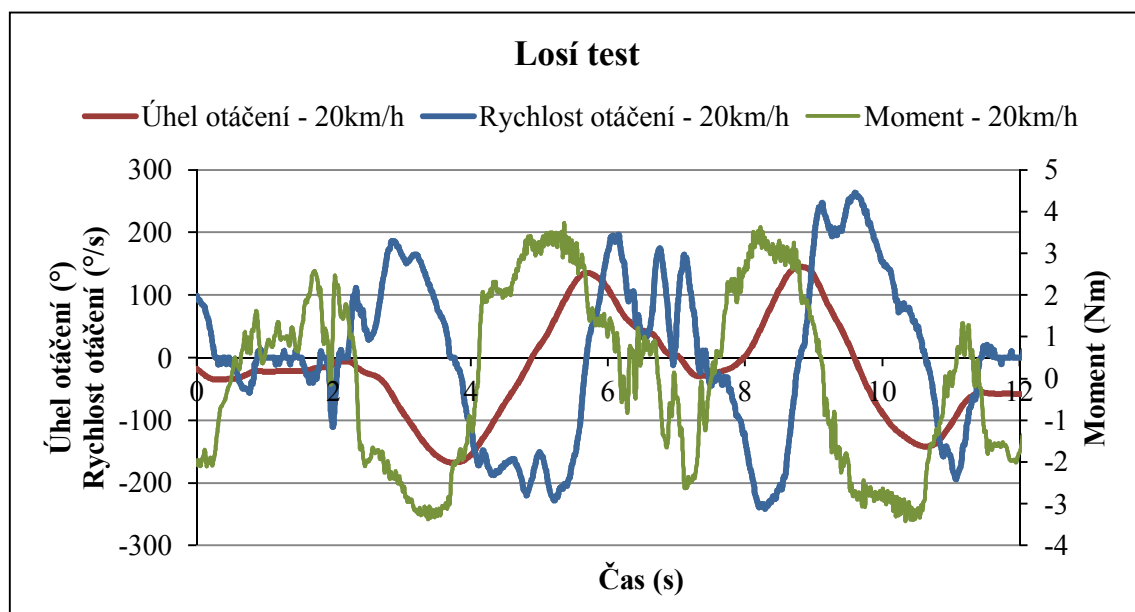
Šířka na začátku dráhy:  $D \cdot 1,1 + 250$ . (2063mm) (4)

Šířka uprostřed dráhy:  $D \cdot 1,3 + 250$ . (2392mm) (5)

Šířka na konci dráhy:  $D \cdot 1,2 + 250$ . (2228mm) (6)

Podle příslušné normy ISO TR 3888, se na začátku zkušební dráhy mělo najíždět rychlostí, které odpovídá rychlost na nejvyšší rychlostní stupeň při 2000 otáčkách a následně celou dráhu projíždět bez plynu.

Tento test jsem upravil projetím celé dráhy konstantní rychlostí v 10, 20, 30, 40 a 50 km/h. Obrázek “Losího testu“ přikládám v příloze č. 26. Pro přehlednost vkládám jen některé grafy. Další grafy jsou v přílohách č. [5 – 10]

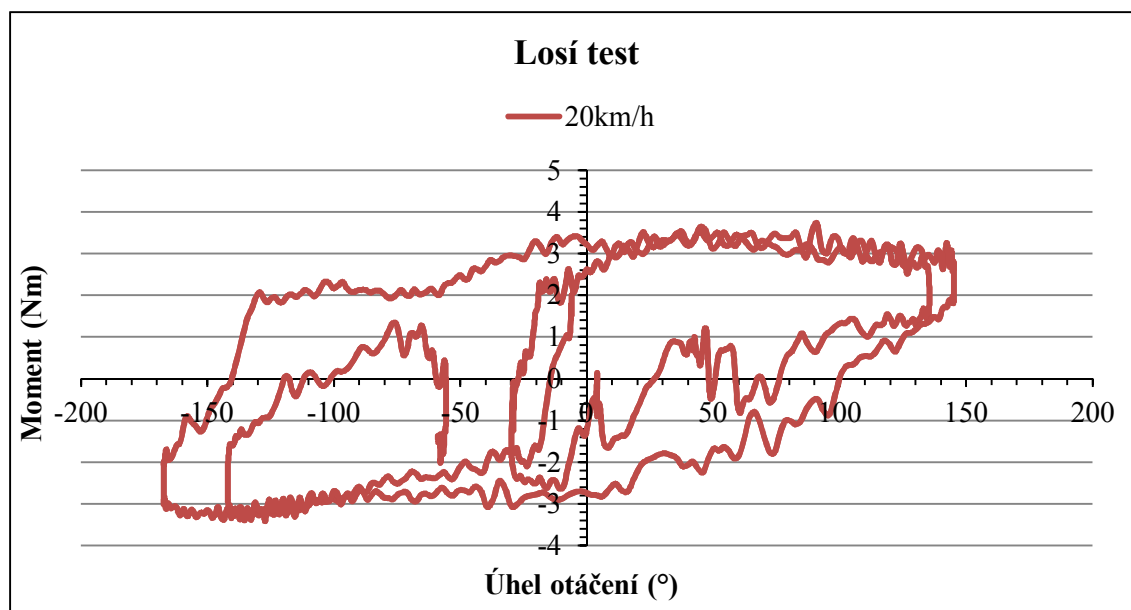


Obr. 1.26. Losí test v 20km/h.

Na grafu je znázorněn moment, úhel otáčení a rychlost otáčení volantu v závislosti na čase. Začátek testu je opět zatížen odchylkou způsobenou nájezdem do losího testu.

Průběh momentu v závislosti na čase nám ukazuje, že moment na volantu nepřesáhl 3,6Nm. Vysvětlení je prosté, neboť je to dáno charakteristikou posilovacího zařízení, které je nastaveno k hodnotám do 5Nm. V tomto případě se odkazují na obr. 1.3. (Charakteristiky servořízení LSA 075). Rychlost otáčení byla špičkově 263°/s a úhel

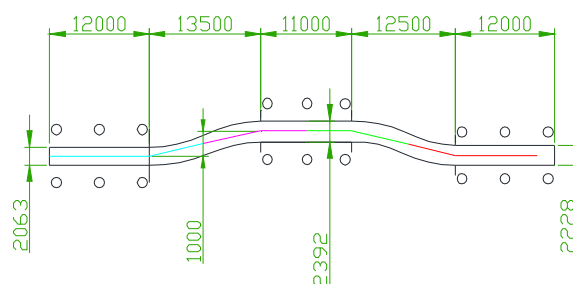
otáčení dosáhl hodnoty  $167^\circ$ . Rychlost otáčení se logicky zvětšovala s rychlostí na špičkách z  $263^\circ/\text{s}$  až na  $567^\circ/\text{s}$ . Tento nárůst bych vysvětlil tím, že s vyšší rychlostí je potřeba rychleji zatočit vzhledem k ujeté dráze za čas.



Obr. 1.27. Losí test - závislost momentu na úhlu otáčení.

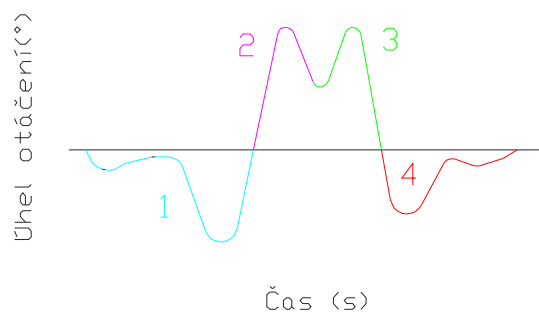
V závislosti Momentu na úhlu otáčení volantu, když se podíváme na všechny měřené rychlosti, vidíme, že s vyšší rychlostí vozidla se zmenšuje úhel otáčení volantu od špičkových hodnot  $210^\circ$  do  $115^\circ$ . Moment se pohyboval v nejvyšších hodnotách od 3,3 do 8,1Nm. Tento nárůst momentu v nejvyšší rychlosti 50Km/h bych vysvětlil oblastí, kde se mění posilovací účinek pomocného zařízení a to směrem ke stabilizaci vozidla viz obrázek č. 1.3. a také bych to přičetl velmi vysoké rychlosti otáčení volantem, při které je mechanismus řízení přetížen viz příloha č. 25. Zde bych se pozastavil a naznačil průběh Losího testu, protože není zcela dobře viditelný.

# Losí test



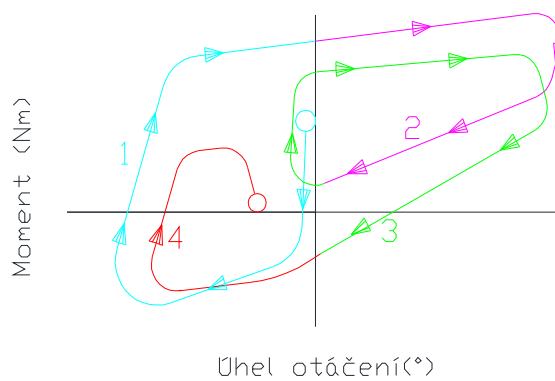
## Losí test

20km/h



## Losí test

20km/h

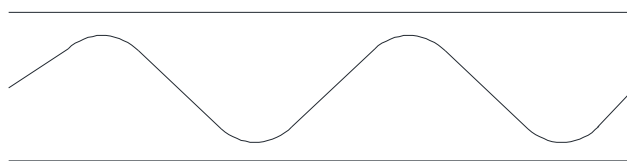


Obr. 1.28. Rozkreslení Losiho testu.

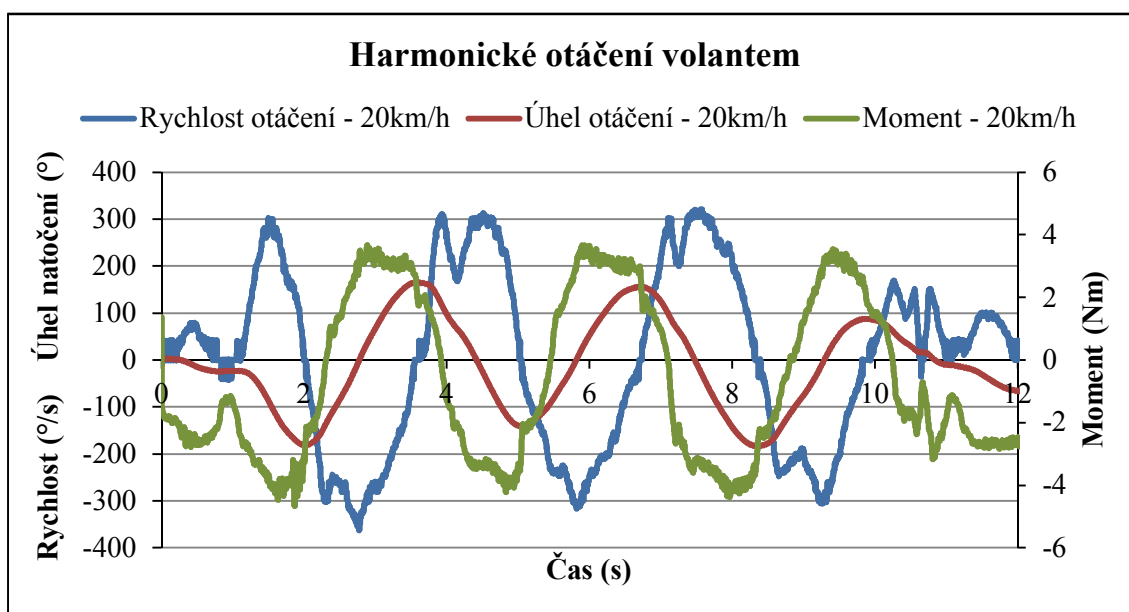
### 4.2.3. Harmonické otáčení volantu

Harmonické otáčení volantem má nasimulovat vyhýbání se nerovnostem na vozovce jako jsou například díry, které nejsou neobvyklé na vozovkách nižší třídy zvláště po zimě. Při testu byla využita celá šířka vozovky.

V mém případě se bude jednat o idealizované harmonické otáčení volantem. Zvolené rychlosti testů jsou 10, 20, 30, 40, a 50km/h, kde budu otáčet volantem z jednoho okraje vozovky do druhého. Zbylé grafy příkládám v příloze č. [11 – 15]

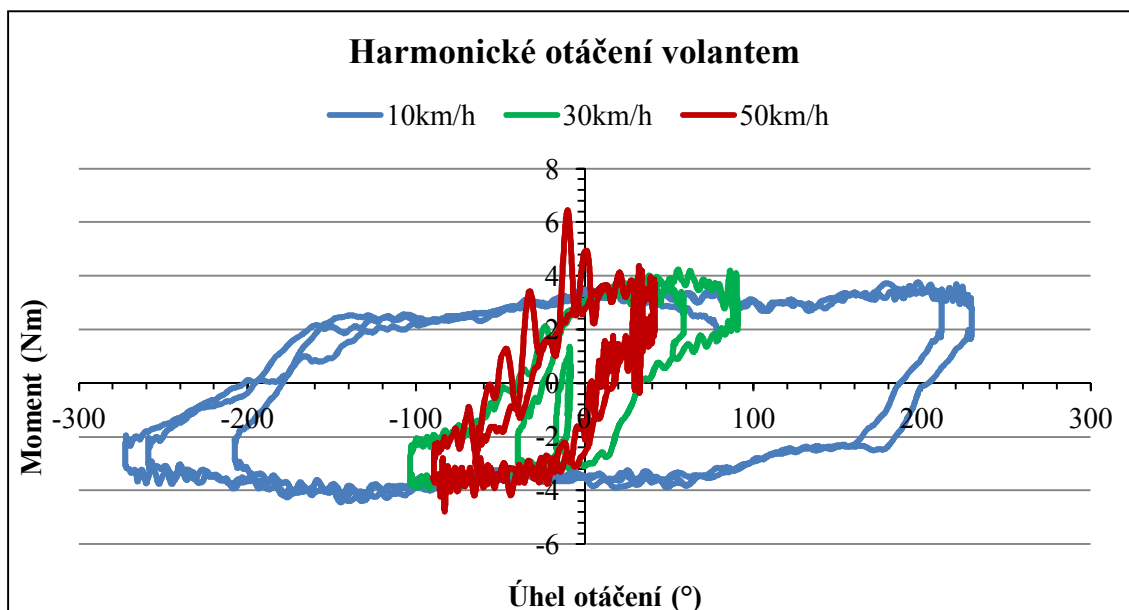


Obr. 1.29. Harmonické otáčení volantem.



Obr. 1.30. Harmonické otáčení volantem.

Tento graf nám znázorňuje závislost momentu, úhlu a rychlosti otáčení v závislosti na čase. Moment zde dosahuje špičkově 4,3Nm, úhel otáčení dosahuje špičkově 191° a rychlost otáčení volantu špičkově 362°/s. Dále na grafu pozorujeme, že čím větší rychlostí jedeme, tím otáčíme volantem méně. Rychlost otáčení také s rostoucí rychlostí klesala a to z 481°/s na 287°/s.



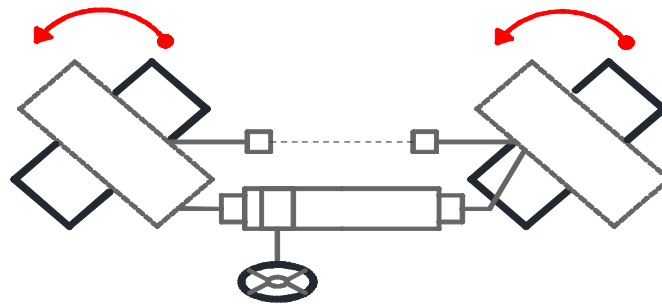
Obr. 1.31. Harmonické otáčení volantem v závislosti momentu na úhlu otáčení volantu.

Na grafu závislosti momentu na úhlu otáčení vidíme, že úhel otáčení volantu s rostoucí rychlostí jízdy klesal z 272° na 89°. Z tohoto poznatku lze vidět určitou paralelu, proč výrobci posilovačů řízení se snaží vytvářet potřeby větší síly k odbočení vozidla za vyšší rychlosti. Je to z bezpečnostních důvodů. Alternativou je, že se mění převodový poměr řízení. Z grafu byly opět odstraněny nájezdové a výjezdové hodnoty z důvodu přehlednosti. Moment se pohyboval od 4,1 do 6,4Nm. Vyjímka, která přesahuje 5Nm, byla opět dosažena v rychlosti 50km/h, kde moment dosahoval špičkově 6,4Nm. Opět to vysvětlují změnou síly posilovacího zařízení (viz obr. 1.3.). U vyšších rychlostí je vidět kratší doba natočení volantu, to je dáno rychlostí automobilu a šířkou vozovky.

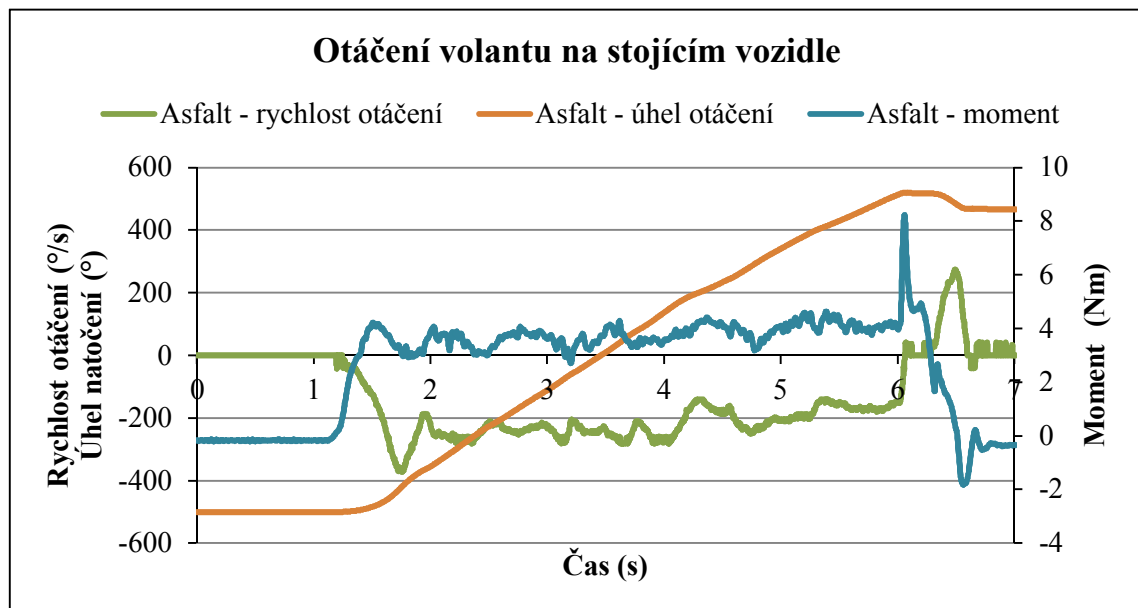
#### 4.2.4. Moment na volantu při stojícím vozidle

Moment na volantu při stojícím vozidle by se měl rovnat nejvyšším hodnotám. Zkoušku budu provádět na různém povrchu, jako jsou kostky, asfalt a dlažba. Tento moment bude muset řidič vyvinout například při vyjíždění ze zaparkovaného místa nebo naopak při parkování. Pro řidiče, kteří pracovní denně jezdí po městě a musí tedy často parkovat, se stává parkování nepříjemně namáhavé a to hlavně pokud není vozidlo vybaveno posilovačem řízení. Na zastaveném vozidle bylo otáčeno volantem z jedné krajní polohy do druhé. Opět zde pro přehlednost vkládám jen některé grafy, ostatní grafy v příloze č. [16-18]



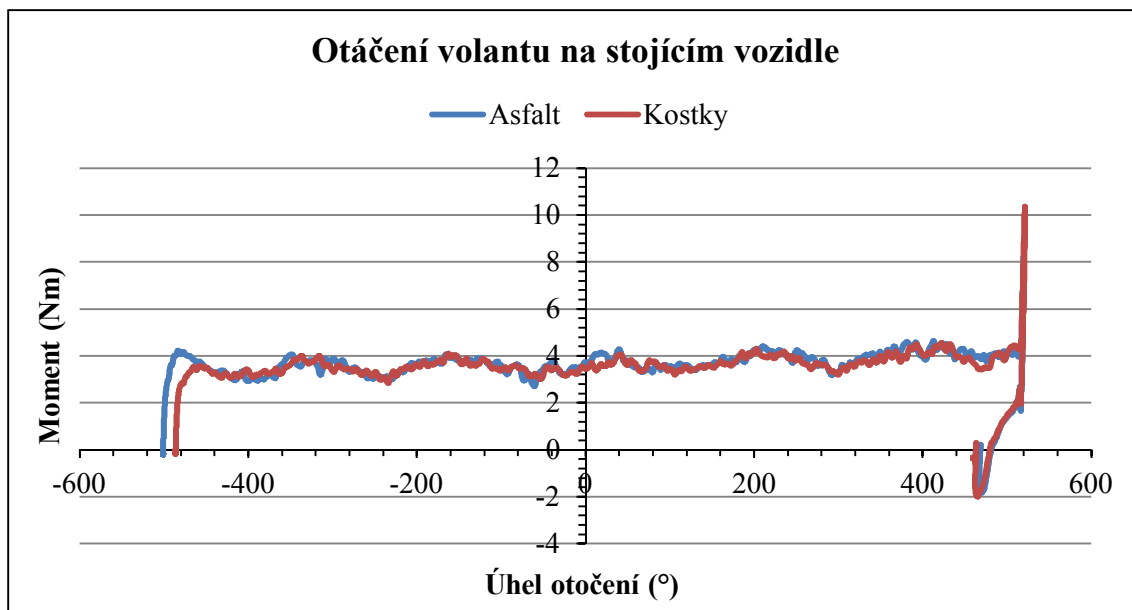


Obr. 1.32. Otáčení volantu z jedné krajní polohy do druhé.



Obr. 1.33. Otáčení volantu na stojícím vozidle.

Z grafu bylo zjištěno, že špičkové hodnoty momentu dosahovaly 4,6Nm a rychlost otáčení byla špičkově 372°/s. U tohoto testu bylo zjištěno, že drsnost povrchu nehraje v našem případě na moment potřebný k otáčení kol z jedné krajní polohy do druhé až takovou roli. Jednotlivé špičkové hodnoty jsou 4.4Nm, 4.6Nm a 5Nm. Podle předchozích testů lze říci, že moment na stojícím vozidle, který musí řidič vyvinout je přibližně stejný jako moment při zatáčení v běžném provozu. Rychlost otáčení se špičkově pohybovala od 327°/s do 372°/s. Přičemž první výstupek na grafu znázorňuje počátek otáčení a poslední odchylka znázorňuje doraz.



Obr. 1. 34. Otáčení volantu na stojícím vozidle v závislosti momentu na úhlu otáčení.

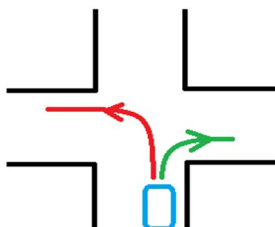
Na grafu závislosti momentu na úhlu otáčení volantem je velmi dobře vidět úhel natočení volantu, který je z jedné krajní polohy otáčen do druhé krajní polohy (zleva doprava). Vytočení řízení doprava je přibližně o  $25^\circ$  větší na konci, protože zde dochází k naražení na doraz. Je to dáno deformací tyče řízení, geometrií řízení, vůlí v řízení a rychlostí otáčení volantem.

#### 4.2.5. Odbočení vozidla o $90^\circ$

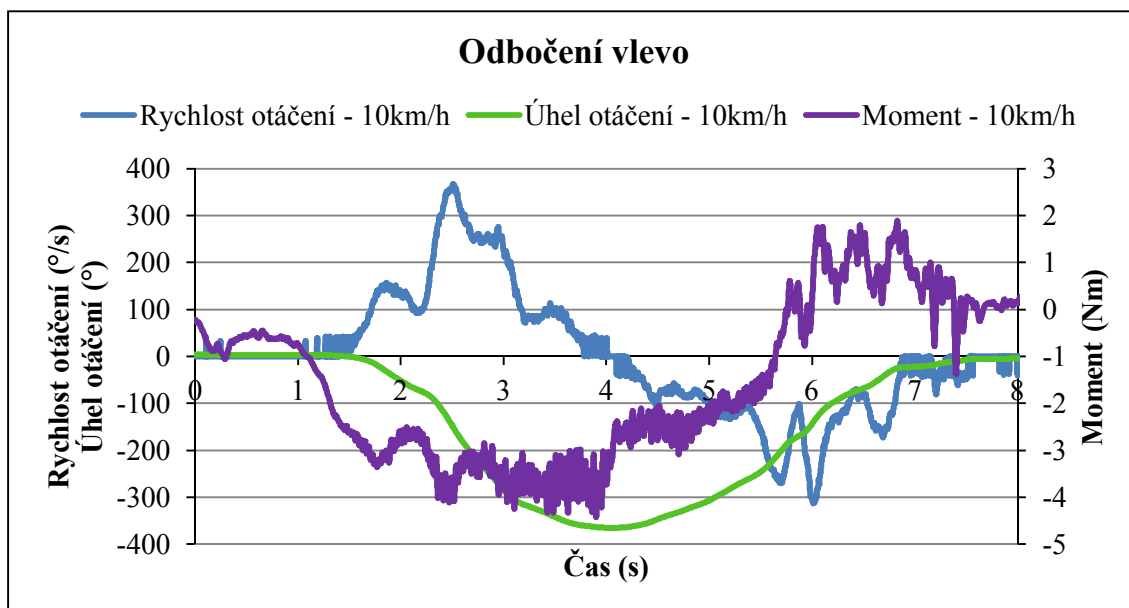
Zde se budu snažit zjistit moment, který musí řidič vyvinout při odbočování například na křižovatce typu T nebo křížové (+).

Provedení zkoušky bylo následující. Vozidlo bude projíždět zatáčkou na druhý převodový stupeň v rychlosti 10, 20 a 30 km/h v jednom jízdním pruhu.

Další grafy přikládám v příloze č. [ 19 - 24].

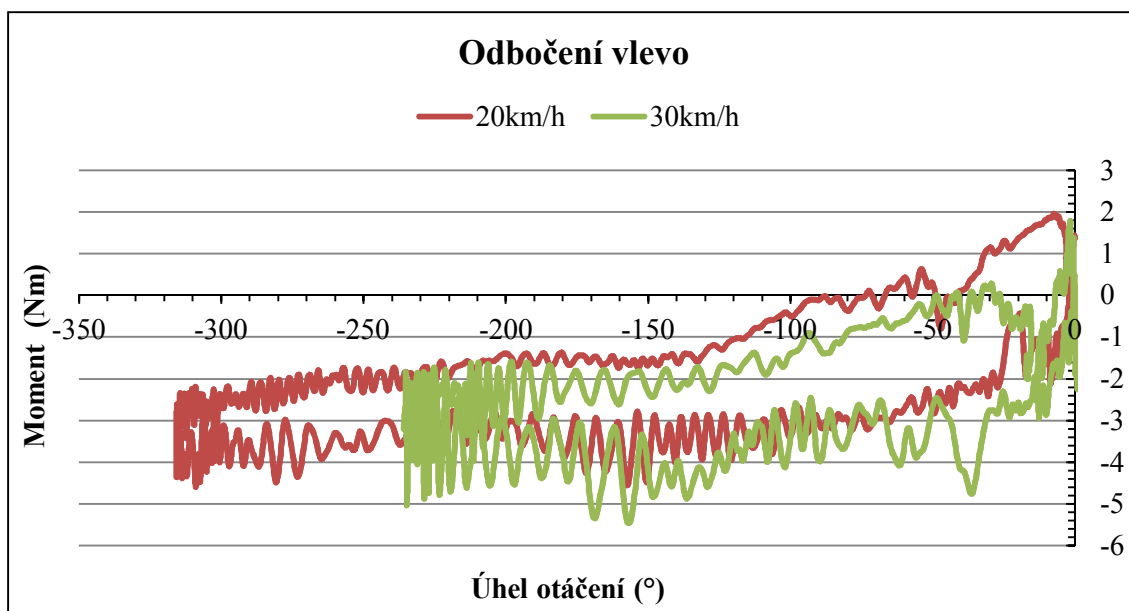


Obr. 1.35. Odbočení vozidla o  $90^\circ$  vlevo a vpravo.



Obr. 1.36. Odbočení vlevo.

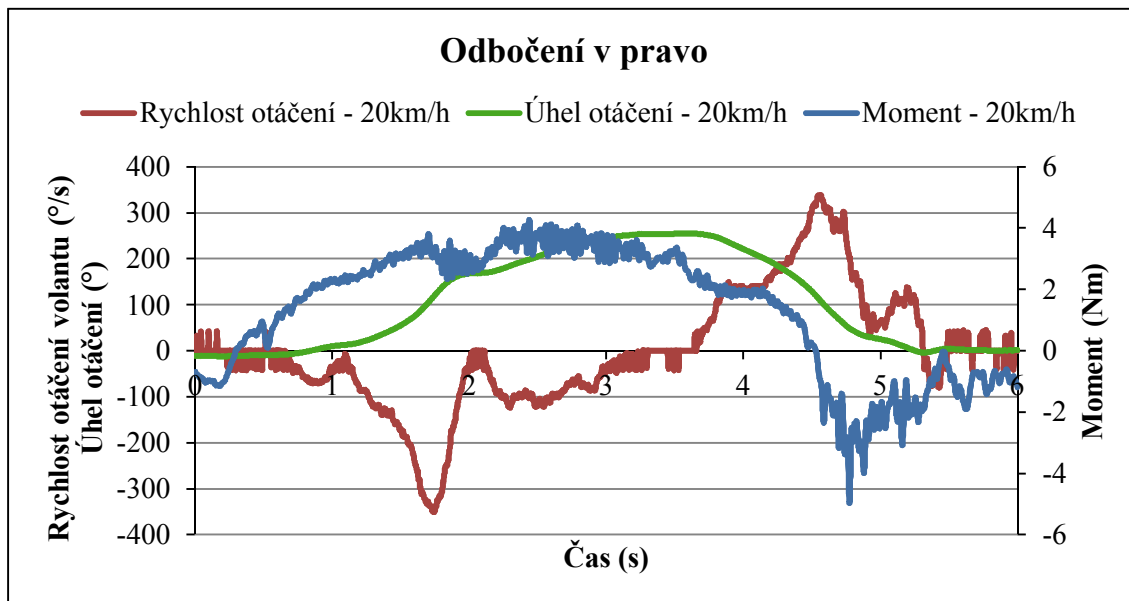
Na grafu je vidět, že moment dosáhl špičkové hodnoty 4,3Nm. Úhel otáčení dosahoval špičkově 362° a rychlost otáčení 366°/s. Pokud se podíváme na všechny grafy, vidíme, že moment se s rostoucí rychlostí zvětšoval. Špičkové hodnoty dosahují od nejnižší rychlosti -4.3Nm, -4.4Nm, a -5.4Nm. Nejnižší špičková rychlost otáčení volantu byla naměřena 265°/s a nejvyšší 366°/s.



Obr. 1.37. Odbočení vlevo v závislosti momentu na úhlu otáčení volantu.

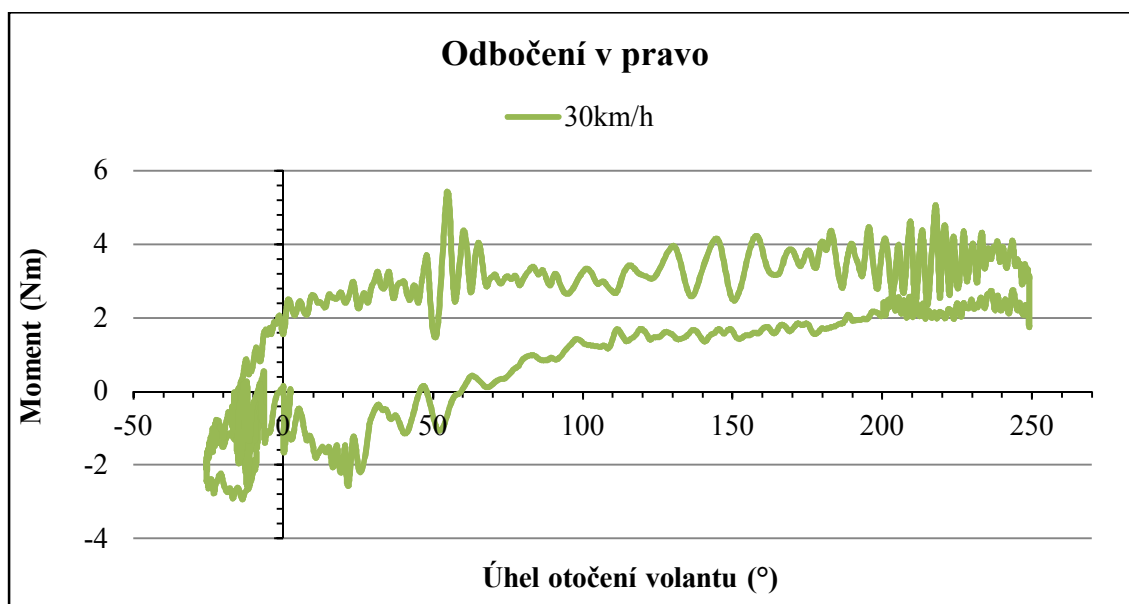
Při nižší rychlosti je úhel otočení volantem větší, což je dáno krajními polohami dráhy. S narůstající rychlostí projetí zatáčky se úhel otáčení zmenšoval. To je dáno

využitím celé šířky dráhy. Špičkové hodnoty všech měřených rychlostí v úhlu otáčení jsou od  $365^\circ$  do  $236^\circ$ .



Obr. 1.38. Odbočení vlevo.

Na grafu momentu, rychlosti a úhlu otáčení volantu v závislosti na čase je vidět průběh projetí zatáčkou. Z grafu vidíme špičkové hodnoty momentu 5Nm, rychlosti otáčení  $351^\circ/\text{s}$  a úhlu otáčení  $254^\circ$ . Rychlost otáčení volantem ve všech rychlostech vozidla se pohybovala ve špičkových hodnotách od  $303^\circ/\text{s}$  až  $357^\circ/\text{s}$  a špičkové hodnoty momentu byly naměřeny od 3,8Nm do 5.4Nm.

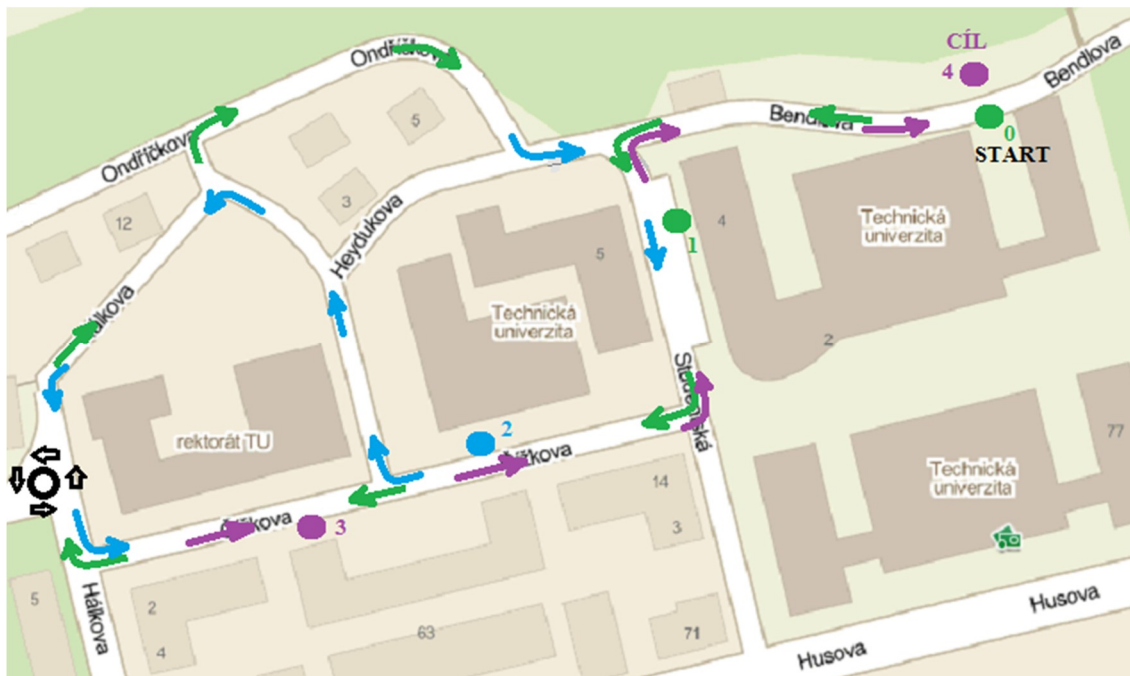


Obr. 1.39. Odbočení vlevo v závislosti momentu na úhlu otáčení volantu.

Na grafu závislosti momentu na úhlu otáčení volantu je vidět rychlý nástup momentu a po dobu zatáčení téměř konstantní moment až po následné narovnání volantu, se kterým klesá moment. Úhel otáčení se s rostoucí rychlostí jízdy snižoval. Ve špičkových hodnotách z  $419^\circ$  na  $249^\circ$ . Při nižší rychlosti je úhel otáčení volantem větší a s narůstající rychlostí projetí zatáčky se zmenšil. To je dáno krajními polohami dráhy. Na začátku návratu volantu vidíme kousek pomyslně přímého momentu. Tento úkaz bych připsal podmínce geometrie kol, ze které plyne vratný moment od kol. Tím je i splněna podmínka EHK, která říká, že moment pro návrat volantu do nulové polohy, tedy přímého směru, má být menší.

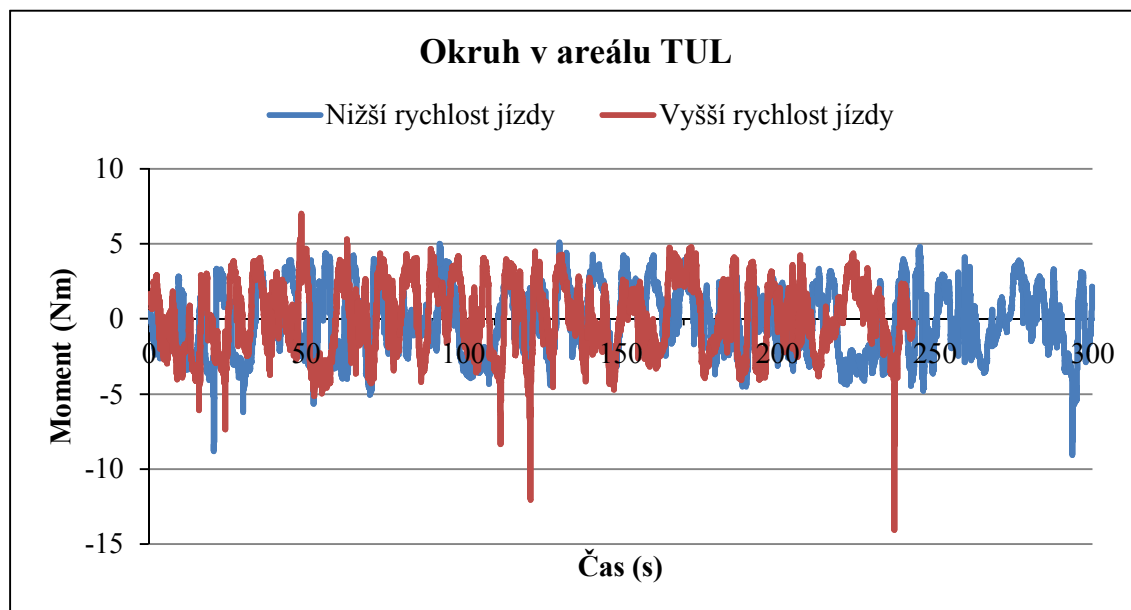
#### 4.2.6. Simulace jízdy po městě

Z této simulace se budu snažit zjistit běžně používané síly ve městě. Do naplánované trasy v omezeném prostoru TUL bylo naplánováno několik druhů parkování včetně několika zatáček s kruhovým objezdem. Okruh jsem se rozhodl projíždět ve dvou rychlostech. Nižší rychlost má simulovat hustý městský provoz a s ním pomalejší jízdu. Druhá rychlost má poukazovat na průjezd městem ve večerních hodinách, téměř bez provozu a tedy za vyšší rychlosti.



Obr. 1.40. Mapa simulace jízdy po městě.

Bod 0 značí počátek testované dráhy na mapce (označeno zelenou tečkou). Zelená tečka s číslem 1 značí místo kolmého parkování (popředu). Bod číslo 2 (modrá tečka) ukazuje místo parkování podél silnice s couváním do podélné řady vozidel. Bod číslo 3 (fialová tečka) značí přibližné místo parkování podél silnice bez couvání. Černý kroužek s šipkami představuje kruhový objezd, který byl vždy projet dokola. Fialová tečka s číslem 4 představuje místo kolmého parkování s couváním. Po zaparkování byl test ukončen. Snímání údajů probíhalo na frekvenci 100Hz, tedy 100 hodnot za 1s.



Obr. 1.41. Okruhu v areálu TUL v závislosti momentu na čase.

Cílem tohoto měření bylo získat nadhled v jakých hodnotách se řidič při řízení pohybuje. Na grafu je vidět, že se řidič při běžném řízení pohybuje k hodnotám do 5Nm. Zcela výjimečně se dostane nad tuto hranici. Maximální hodnota, kterou jsem získal při kolmém parkování se zacouváním do řady stojících vozidel (poslední výstupek na konci grafu) je 14Nm. Tato hodnota byla dosažena naražením na doraz plně vytočeného řízení při parkování. Všechny ostatní výstupky přesahující hranici 7Nm byly získány také při parkování a naražením na doraz maximálního vytočení kol. Tyto hodnoty však nemají na nastavení posilovacího zařízení žádný vliv.

## 5. Odezva pro Steer-by-Wire

V poslední části mám vyhodnotit odezvu pro elektronickém řízení Steer-by-Wire. Ze všech zde zmíněných testů lze říci, že hodnota při řízení se nejčastěji pohybuje na 3,5 - 4,5Nm. Proto, abych získal hodnoty nižší, jsem se rozhodl pro další test a to zvedání přední nápravy s předpokladem, že se bude síla na kola daná hmotností vozidla a součinitelem tření kol s vozovkou zmenšovat, s ní i potřebná síla vynaložená řidičem k otáčení volantu. Tento test jsem se také rozhodl udělat kvůli rozhodnutí velikosti síly na volant z předešlých testů a ověření její správnosti pro Steer-by-Wire.

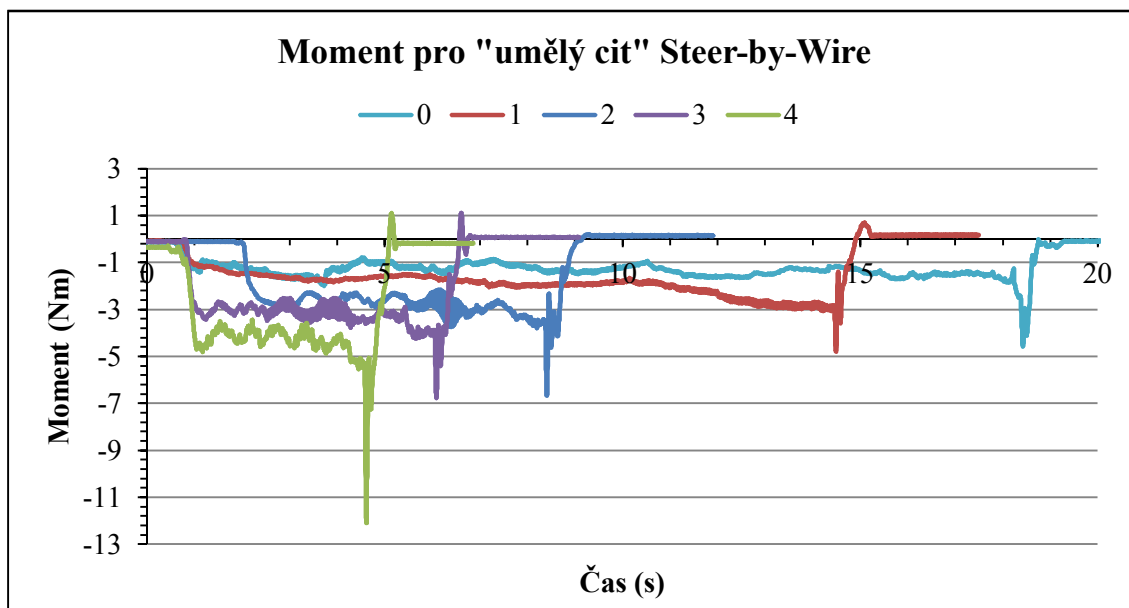
### 5.1. Měření při různém zatížení přední nápravy vozidla

Na vozidle bylo otáčeno volantem z jedné krajní polohy do druhé v závislosti na čase, kde je dobře vidět moment vynaložený řidičem. Přední nápravu jsem nadzvedl až do přerušení styku kol se zemí a postupně spouštěl dolů až do plného zatížení přední nápravy hmotností vozidla.



*Obr. 1.42. Zkoušky pro umělý cit.*

0 – Měření probíhalo za úplného nadzvednutí přední nápravy. 1 – 4 měření je prováděno za minimálního styku kol s vozovkou až po plné zatížení kol vahou vozidla. Získal jsem tak síly od 1 do 5Nm. Toto měření je prováděno z důvodu zjištění jak vypadá síla na volant menší než 3Nm, abych já jako univerzální měřicí přístroj subjektivní zkoušky získal představu o této síle na volant a utvrdil se o doporučení síly pro Steer-by-Wire z předešlých měření.



Obr. 1.43. Zkoušky momentu pro umělý cit v závislosti momentu na čase.

Během měření od 1Nm do 5Nm se dostávám k závěru, ze kterého vyplývá, že hranice citu pro řízení silou odpovídající 1Nm je moc malá a nepřírozená pro řízení. Volant se otáčí nepřírozeně lehce. Při síle otáčení odpovídající 1,5Nm bylo otáčení přirozenější. Malá námaha řidiče je zde určitě kladem. Při 2 - 2,5Nm je řízení přirozené a lehce ovladatelné. Při 3Nm je řízení tužší povahy. Byla potřeba vynaložit až hraničně vysoká síla srovnatelná s dnešními posilovači řízení. Při 3,5 – 4,5Nm je moment odpovídající dnešním posilovačům.

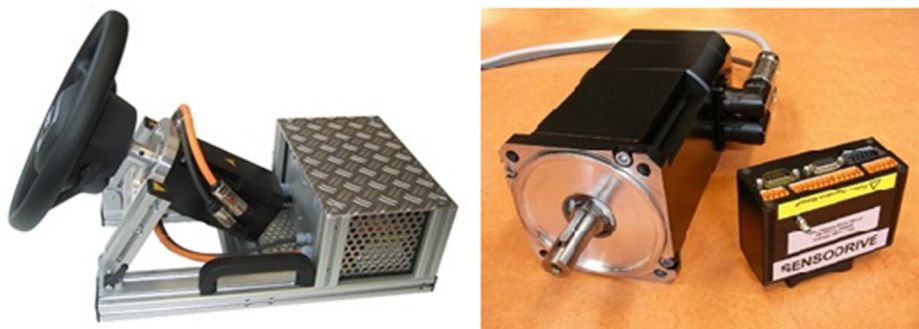
## 5.2. Doporučení pro Steer-by-Wire

V zájmu dosažení co nejpresnějších údajů bylo prováděno každé měření několikrát. Použil jsem několik druhů zkoušek a vyhodnocoval výsledky. Po vyhodnocení výsledků jsem došel k závěru, že elektronické řízení Steer-by-Wire by mělo být doplněno (umělým citem) odezvou pro řidiče, při které by řidič působil na volant silou odpovídající momentu v rozsahu 1,5 až 2,5Nm. Tento moment vyhodnocuji jako vhodný pro řízení Steer-by-Wire v doslovném překladu „řízení po drátě“. Dále bych zcela určitě využil charakteristiku dnešních posilovačů a změny převodového poměru řízení.



### 5.2.1. Pomocné zařízení pro řízení

K dosažení vyhodnoceného momentu ze všech měření (1,5Nm – 2,5Nm) pro Steer-by-Wire je třeba dle mého měření vybavit řízení pomocným zařízením o výkonu 9Nm. Ještě bych zde zmínil, že s danou charakteristikou posilovače se s rychlostí posilovací účinek zmenšuje a pomocné zařízení by mělo mít až dvojnásobný výkon 18Nm. Pro toto tvrzení je však nutné provést další měření ve vyšších rychlostech automobilu. Z tohoto důvodu se tedy odkazují na německou firmu SENSODRIVE, která prováděla měření v roce 2008 pro zjištění potřebného výkonu pomocného zařízení a udává výkon 12,5Nm Tato hodnota je uváděna v katalogu firmy SENSODRIVE. Z novějšího měření dostupného na internetu je už uváděna hodnota 16,5Nm. Tato hodnota se bude zřejmě s druhem posilovacího zařízení měnit.



Obr. 1.44. Zkoušecí stanice pro pomocný motor řízení. Zdroj: [www.sensodrive.de](http://www.sensodrive.de) [18]

### 5.3. Doporučení pro další závěrečné práce v oblasti řízení

Pro další závěrečnou práci bych doporučil v závislosti na měření, které jsem zde provedl a měření ve vyšších rychlostech, které by bylo nutné provést, zpracovat návrh na zcela novou charakteristiku řízení pro Steer-by-Wire, kde je možno celou charakteristiku posilovacího účinku programovat a využít proměnného převodového poměru řízení.

Jelikož je zde přerušena zpětná vazba na rozdíl od mechanického spojení řízení, je potřeba zde vyřešit další problémy. Například naražení kolem na obrubník při parkování, kdy řidič vlastně neví, že se opírá již bokem kola o obrubník a může kolo i poškodit. Je zde třeba adekvátně nahradit odezvu z řízení s pevným spojením.

## ZÁVĚR

V bakalářské práci byla provedena analýza současných typů posilovačů řízení a zařízení určených k měření parametrů na volantu vozidla. Navrhl jsem redukci pro odzkoušení snímače na zkoušecí stanici a následně provedl kalibraci snímače točivého momentu. Provedl jsem zástavbu snímače točivého momentu a inkrementálního snímače, které byly k dispozici na Katedře vozidel a motorů do sloupku řízení. Provedl jsem rozbor současných typů zkoušek ovladatelnosti a vybral několik zkoušek, které jsem přizpůsobil městskému provozu dle vymezeného prostoru TUL.

Na základě testů mohu říci že, charakteristika posilovače je dána tak, aby řidič za běžného provozu do 40km/h nepřesáhl hranici 5Nm. Mnou naměřené hodnoty do rychlosti 40km/h činí moment špičkově 5,4Nm a rychlost otáčení špičkově 372°/s. Z testu harmonického otáčení volantem bylo zjištěno, že s rostoucí rychlostí otáčíme volantem méně (dle měření z 272° na 89°). Dále bylo zjištěno, že pro návrat volantu do nulové polohy po odbočení je potřeba menší síla. Tento jev je dobře viditelný na testu odbočení vlevo a vpravo. To je způsobeno geometrií řízení a je jednou z podmínek EHK. Ve zkoušce simulace jízdy po městě došlo k potvrzení působení silou na volant o velikosti momentu do 5Nm. Ze zkoušky otáčení volantu na stojícím vozidle jsem získal velikost potřebného momentu při parkování. Pohyboval se ve špičkové hodnotě na různých površích od 4,4Nm do 5Nm. Ke změně dochází se zvyšující rychlostí, kde se zmenšuje velikost pomocné síly posilovače řízení. To se projevilo za rychlosti 50km/h u “Losího testu“ a harmonického otáčení. Při “Losím testu“ byly získány špičkové rychlosti otáčení 567°/s a moment 8,1Nm. Špičkové hodnoty harmonického otáčení volantu jsou u momentu 6,4Nm a rychlost otáčení 481°/s. Moment z měření na kruhovém objezdu odpovídá špičkově 4,1Nm až 5,2Nm.

V poslední části jsem vyhodnocoval sílu pro “umělý cit“. Rozhodl jsem se pro další zkoušku s ohledem na správnost navržených hodnot a to zkouškou otáčení volantu při různém zatížení přední nápravy vozidla. Po důkladném zvážení výsledků všech zkoušek jsem došel k závěru, že elektronické řízení Steer-by-Wire by mělo být doplněno (umělým citem) odezvou pro řidiče, při které by řidič působil na volant silou odpovídající momentu v rozsahu 1,5Nm až 2,5Nm. Tento moment vyhodnocuji jako



vhodný pro řízení Steer-by-Wire v doslovném překladu „řízení po drátě“. Na základě naměřených hodnot, doporučuji vybavit řízení pomocným zařízením o výkonu 9Nm.

## Seznam použité literatury

1. VLK, F.: Systémy řízení podvozku a komfortní systémy. Nakladatelství a vydavatelství Vlk, Brno, 2000 [ISBN 80-239-7062-3]
2. VLK, F.: Podvozky motorových vozidel. Nakladatelství a vydavatelství Vlk, Brno, 2000 [ISBN 80-238-5274-4]
3. <http://www.bosch.cz> [navštíveno 5-9-2011]
4. <http://veteran.auto.cz/> [navštíveno 5-9-2011]
5. <http://www.ultimatecarpage.com/car/1105/Mercedes-Benz-F-200.html> [navštíveno 6-9-2011]
6. <http://www.auto.cz/by-wire-v-citronu-c5-15627> [navštíveno 23-9-2011]
7. <http://www.kmt-gmbh.com/neu/kmtcls-measurement-steering-wheel-sensor-p-68.html> [navštíveno 2-10-2011]
8. <http://www.atitelemetry.com/viewproduct-625.htm> [navštíveno 2-10-2011]
9. <http://www.sendev.com/products-and-services/vehicle-test-sensors/automotive-steering-wheel-sensors/steering-effort-sensor/> [navštíveno 2-10-2011]
10. <http://www.hbm.cz> [navštíveno 25-10-2011]
11. <http://www.rls.si/default.asp?prod=modules> [navštíveno 25-11-2011]
12. VLK, F.: Zkoušení a diagnostika motorových vozidel. Nakladatelství a vydavatelství Vlk, Brno, 2001 [ISBN 80-238-6573-0]
13. VLK, F.: Koncepce motorových vozidel. Nakladatelství a vydavatelství Vlk, Brno, 2000 [ISBN 80-238-5276-0]
14. <http://www.zf.com> [navštíveno 12-10-2011]
15. <http://www.hp-servis.cz> [navštíveno 2.-11-2011]
16. Schwarz, J.:Automobily Škoda Roomster. Grada, Praha 2007. [ISBN 978-80-247-1662-6]
17. <http://www.skoda-auto.cz> [navštíveno 20-11-2011]
18. <http://www.sensodrive.de> [navštíveno 15-12-2011]

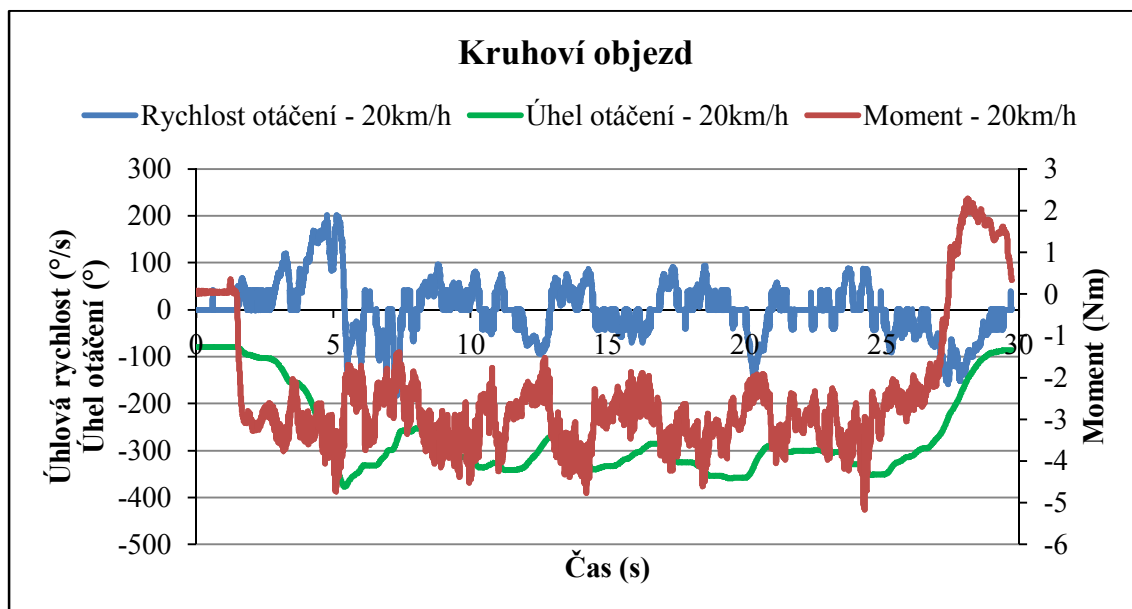
## Příloha č. 1

		Vzdálenos t od středu (mm)	Toleranc e daná výrobce m	Naměřen á hodnota (Nm)	Správná hodnota (Nm)	Rozdíl hodnot (Nm)	Přenos t daná výrobce m
Levá strana	Váha 10kg	70	( $\pm 0,1$ Nm )	-6,94	-7	-0,06 (0,11%)	1%
	Váha 20kg	70	( $\pm 0,1$ Nm )	-13,85	-14	-0,15 (0,3%)	1%
Levá strana	Váha 10kg	90	( $\pm 0,1$ Nm )	-8,91	-9	-0,09 (0,19%)	1%
	Váha 20kg	90	( $\pm 0,1$ Nm )	-17,81	-18	-0,19 (0,37%)	1%
Levá strana	Váha 10kg	120	( $\pm 0,1$ Nm )	-11,88	-12	-0,12 (0,23%)	1%
	Váha 20kg	120	( $\pm 0,1$ Nm )	-23,80	-24	-0,2 (0,41%)	1%
Levá strana	Váha 10kg	150	( $\pm 0,1$ Nm )	-14,86	-15	-0,14 (0,27%)	1%
	Váha 20kg	150	( $\pm 0,1$ Nm )	-29,78	-30	-0,22 (0,45%)	1%
Levá strana	Váha 10kg	200	( $\pm 0,1$ Nm )	-20,01	-20	0,01 (0,02%)	1%
	Váha 20kg	200	( $\pm 0,1$ Nm )	-40,07	-40	0,07 (0,03%)	1%

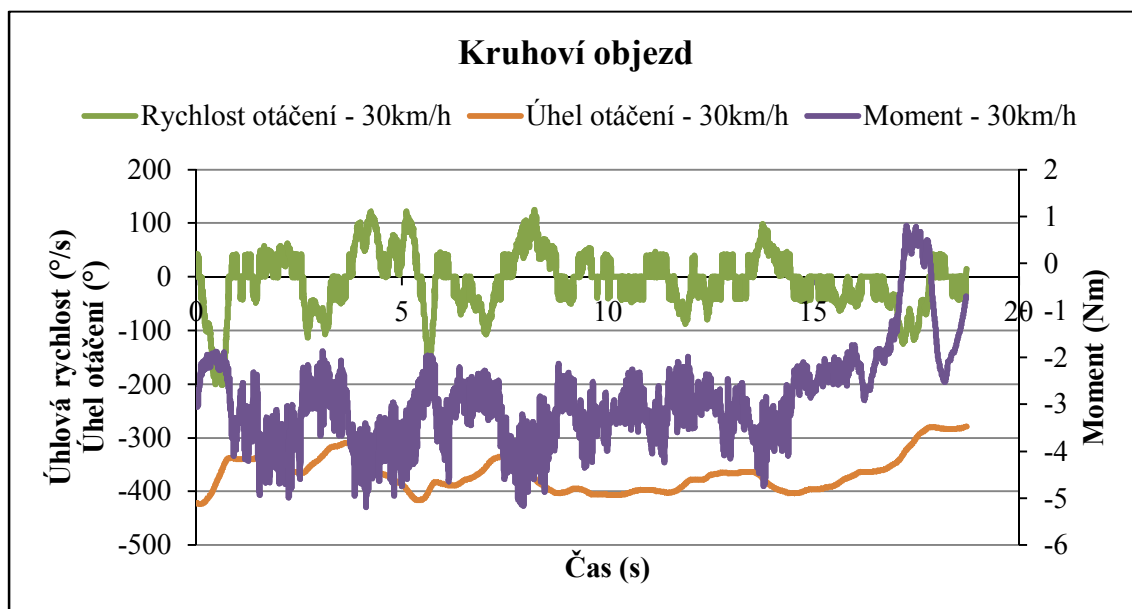
## Příloha č. 2

		Vzdálenos t od středu (mm)	Toleranc e daná výrobce m	Naměřen á hodnota (Nm)	Správn á hodnot a (Nm)	Rozdíl hodnot (Nm)	Přesnost daná výrobce m
Pravá stran a	Váha10k g	70	( $\pm 0,1$ Nm )	6,95	7	-0,05 (0,1%)	1%
	Váha 20kg	70	( $\pm 0,1$ Nm )	13,90	14	-0,1 (0,2%)	1%
Pravá stran a	Váha10k g	90	( $\pm 0,1$ Nm )	8,91	9	-0,09 (0,18%)	1%
	Váha 20kg	90	( $\pm 0,1$ Nm )	17,81	18	-0,19 (0,37%)	1%
Pravá stran a	Váha10k g	120	( $\pm 0,1$ Nm )	11,89	12	-0,11 (0,22%)	1%
	Váha 20kg	120	( $\pm 0,1$ Nm )	23,81	24	-0,19 (0,39%)	1%
Pravá stran a	Váha10k g	150	( $\pm 0,1$ Nm )	14,88	15	-0,12 (0,24%)	1%
	Váha 20kg	150	( $\pm 0,1$ Nm )	29,75	30	-0,25 (0,49%)	1%
Pravá stran a	Váha10k g	200	( $\pm 0,1$ Nm )	19,95	20	-0,05 (0,1%)	1%
	Váha 20kg	200	( $\pm 0,1$ Nm )	39,96	40	-0,04 (0,08%)	1%

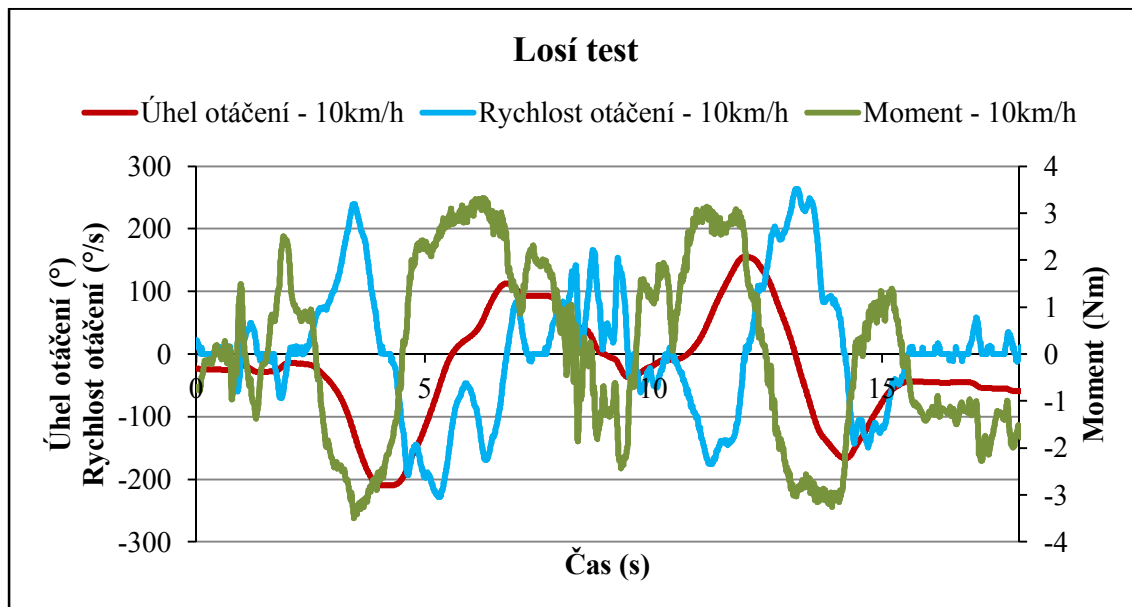
Příloha č. 3



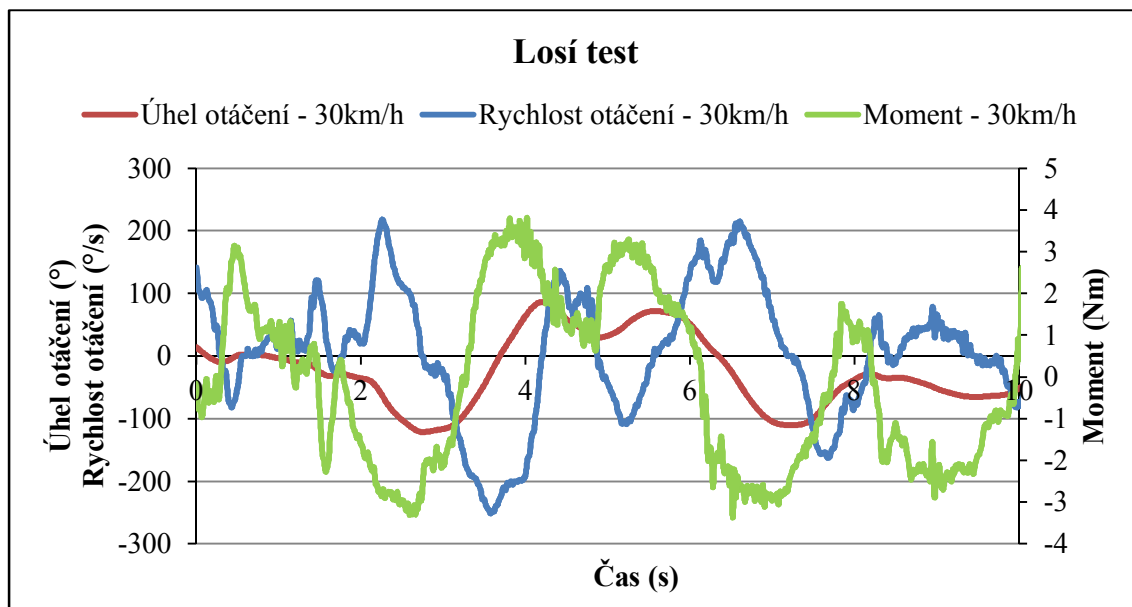
Příloha č. 4



Příloha č. 5

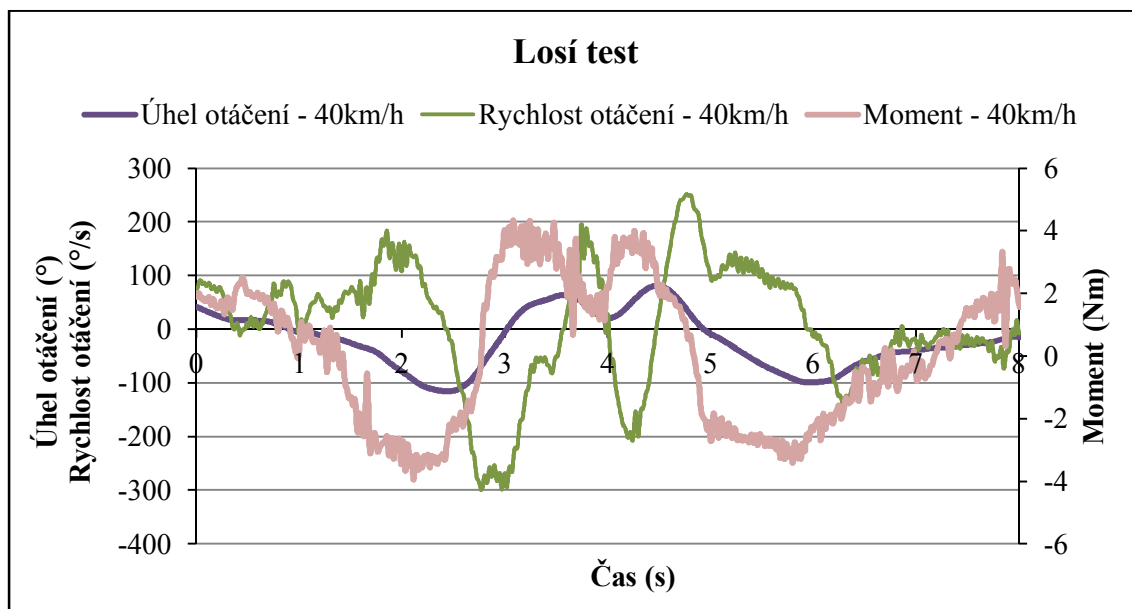


Příloha č. 6

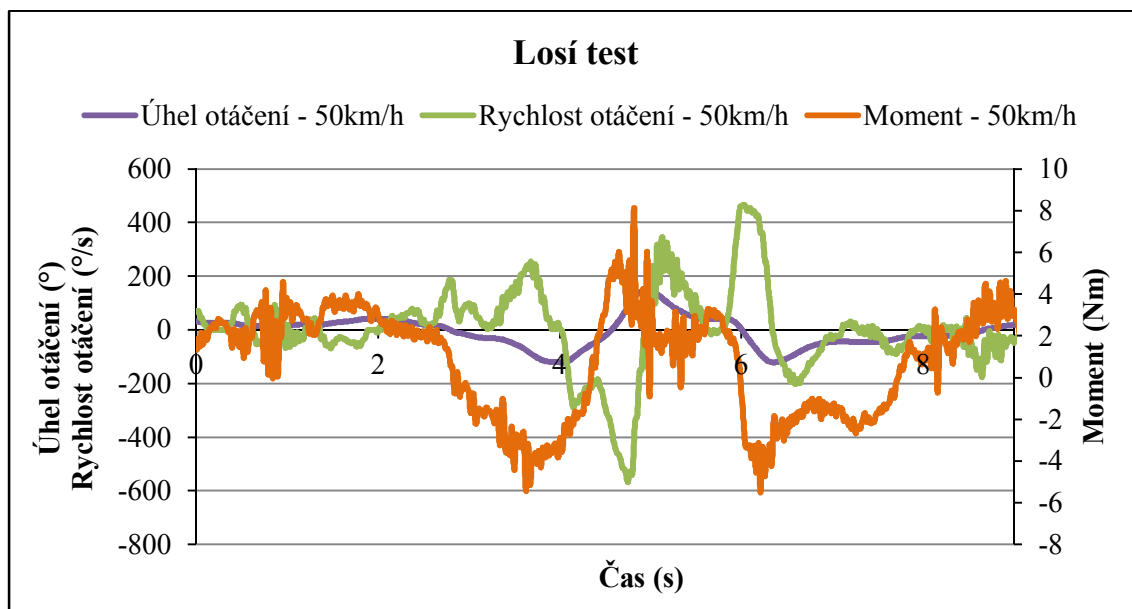




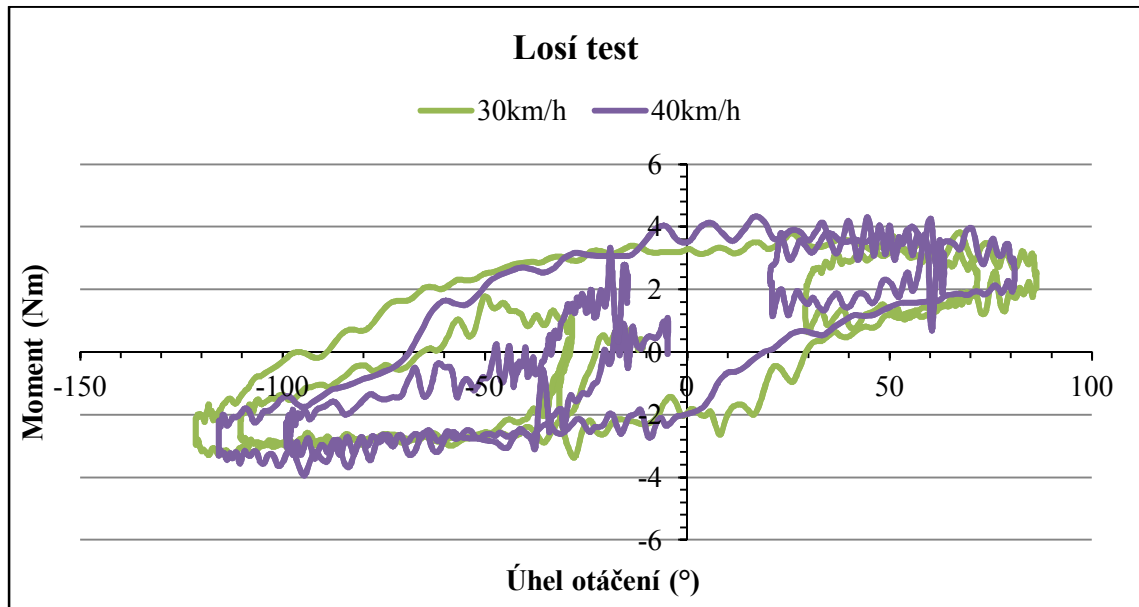
Příloha č. 7



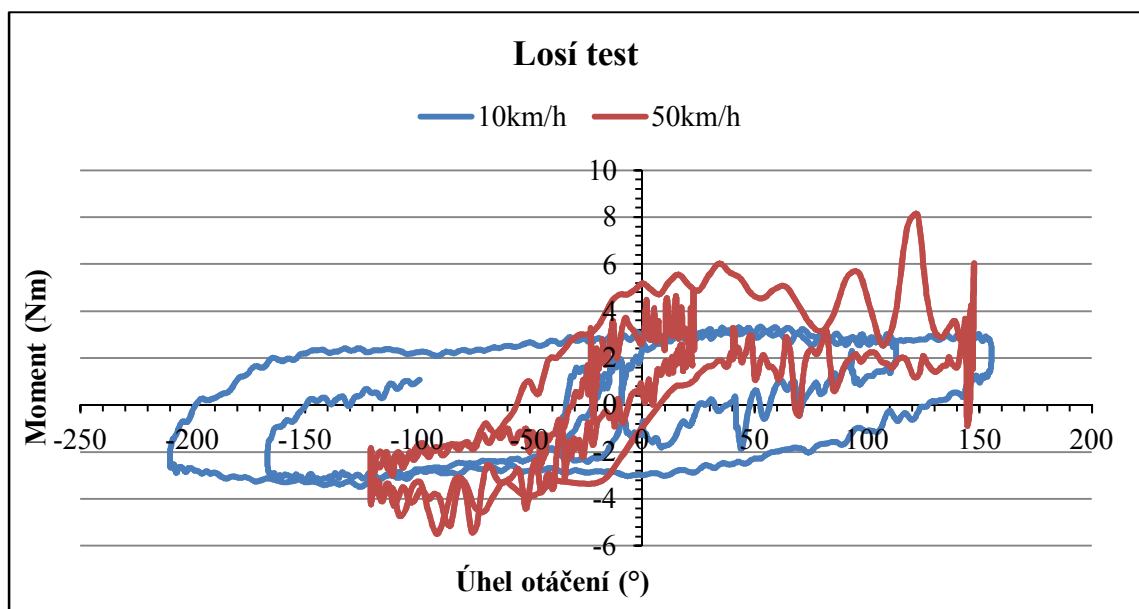
Příloha č. 8



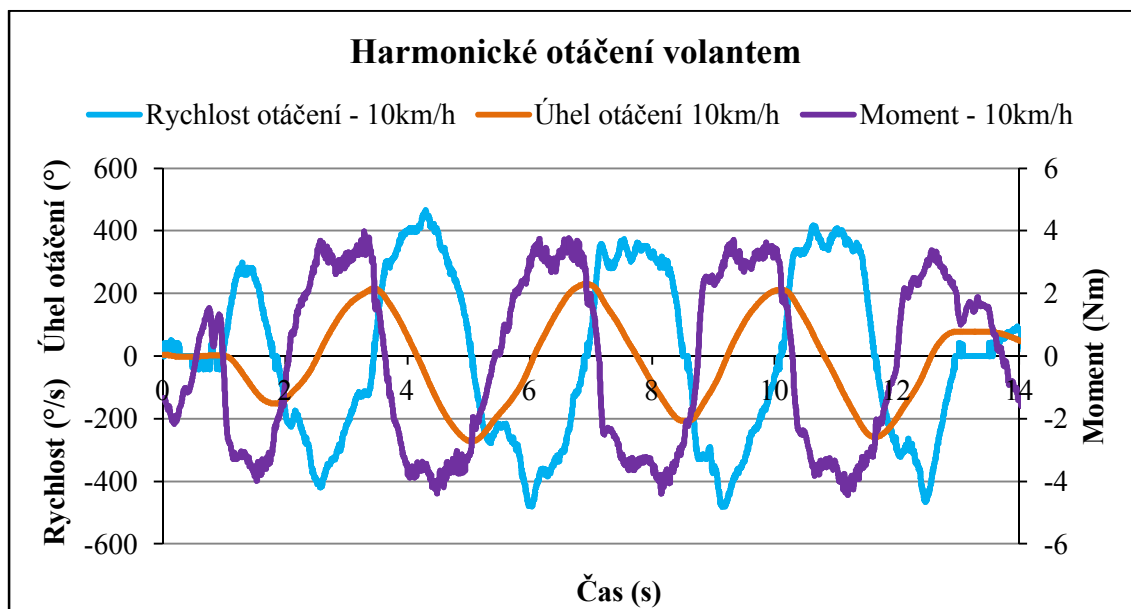
Příloha č. 9



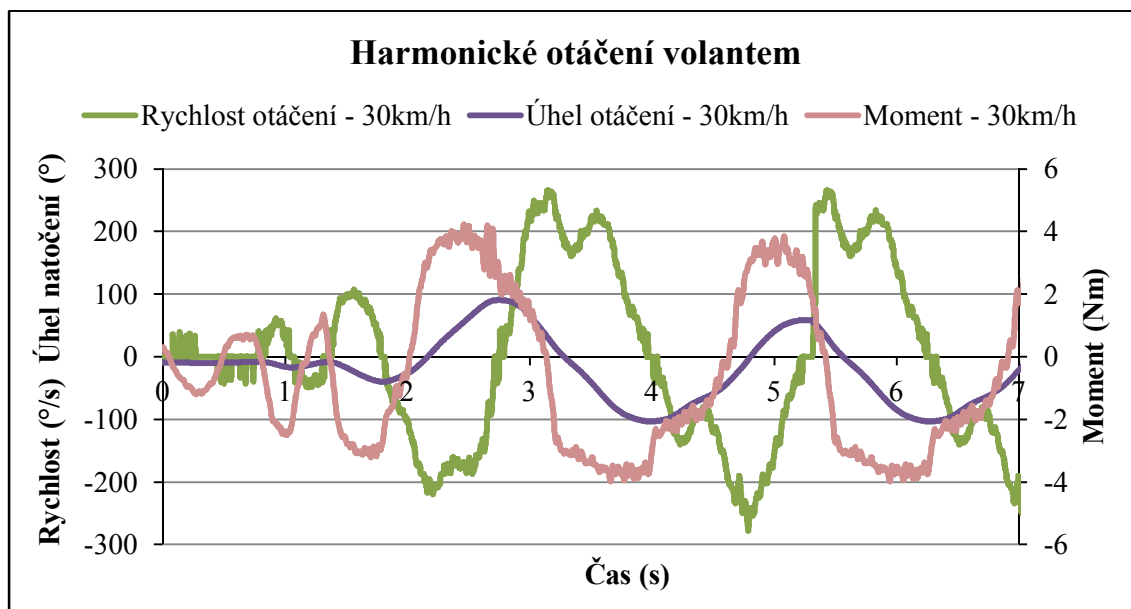
Příloha č. 10



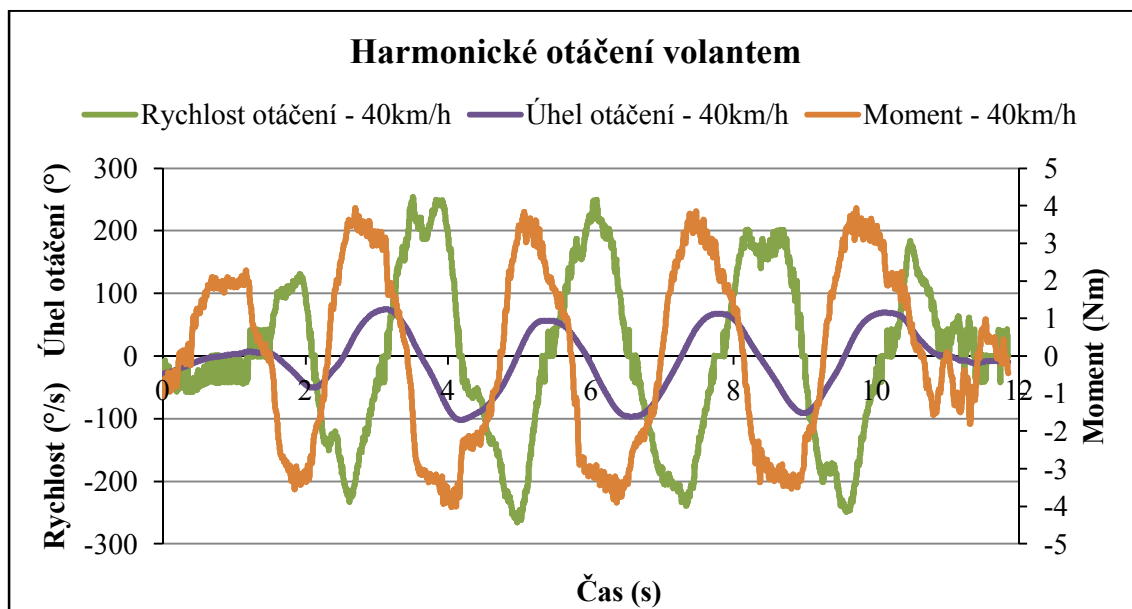
Příloha č. 11



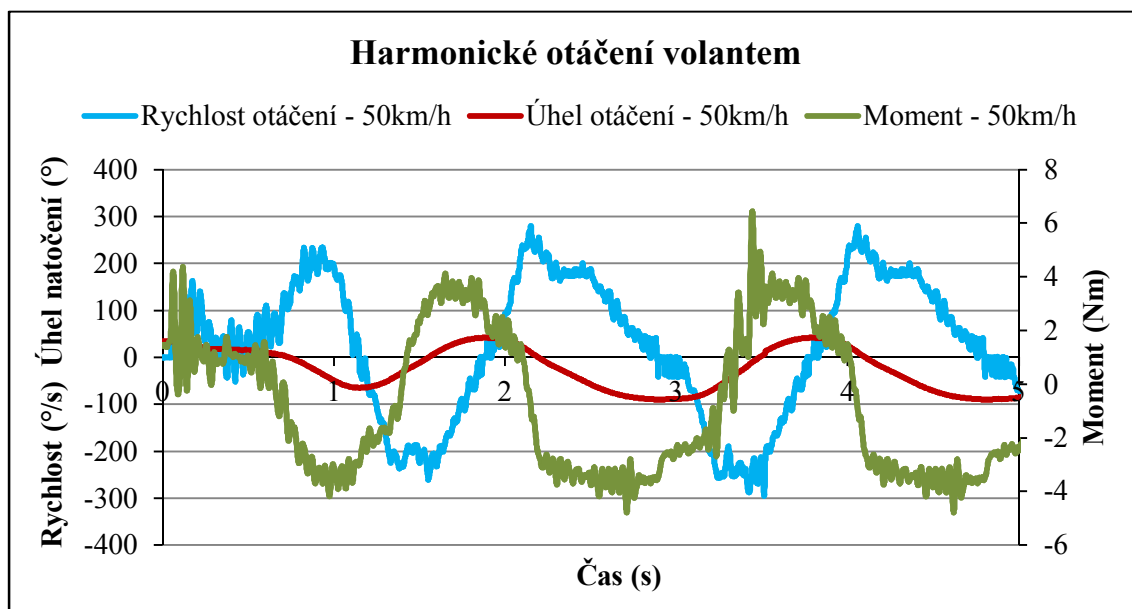
Příloha č. 12



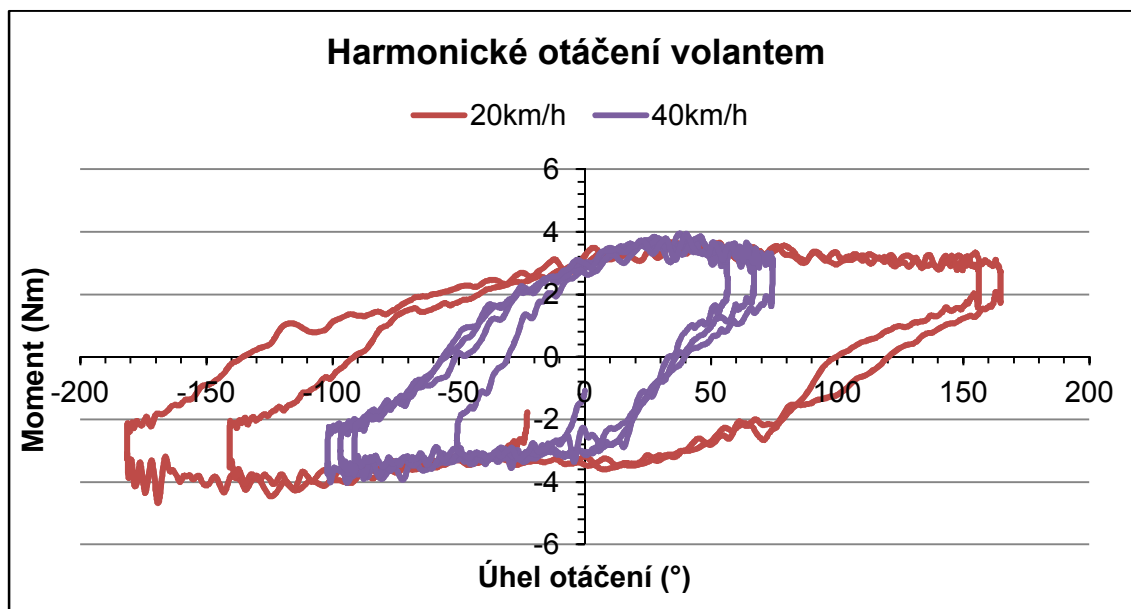
Příloha č. 13



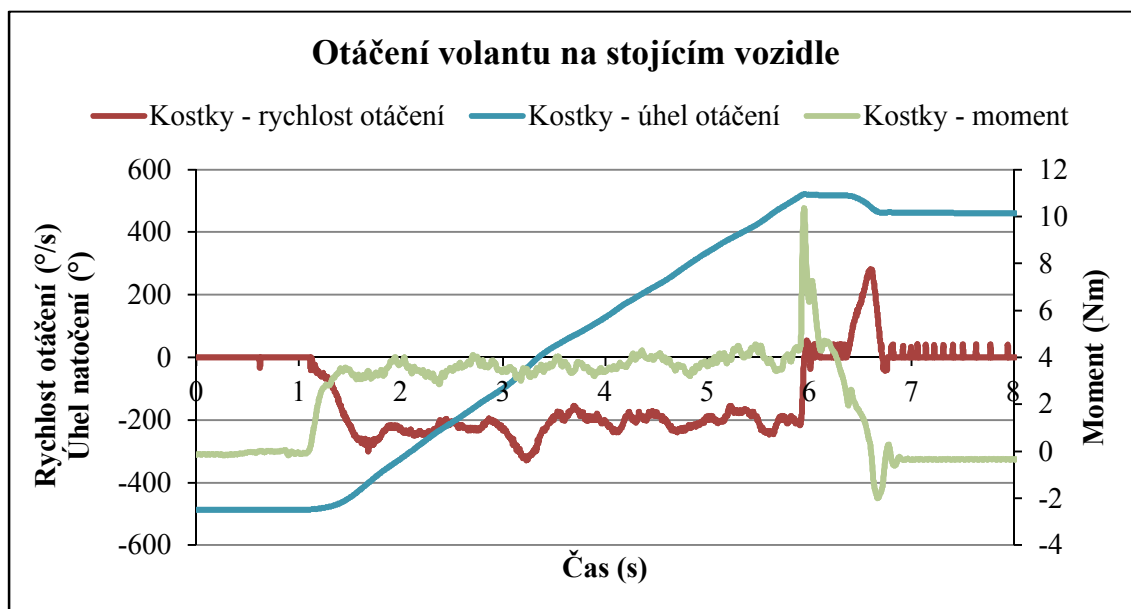
Příloha č. 14



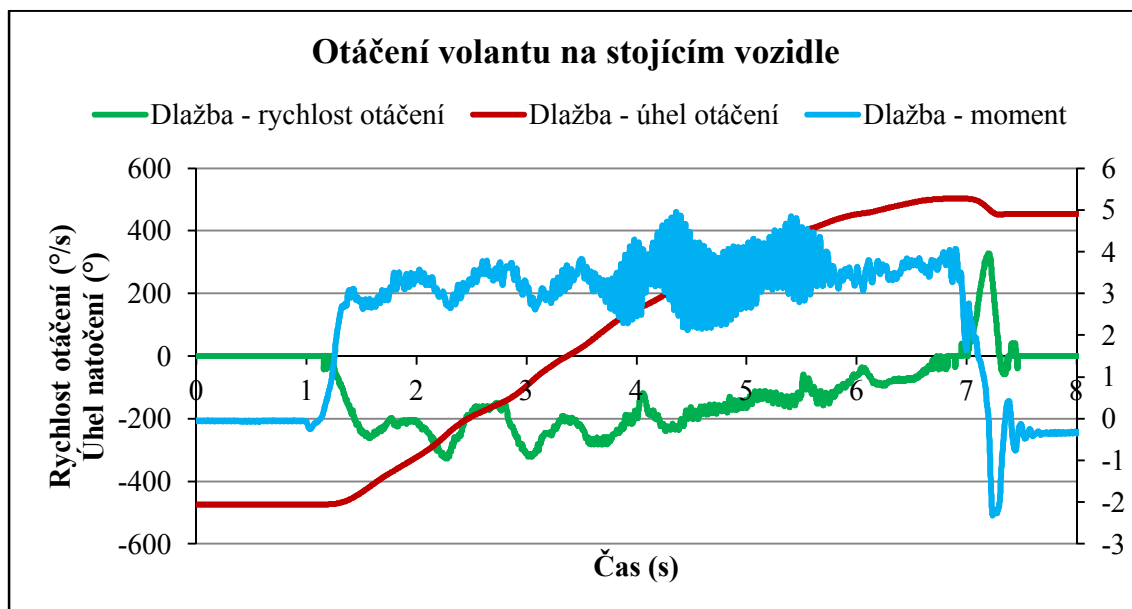
Příloha č. 15



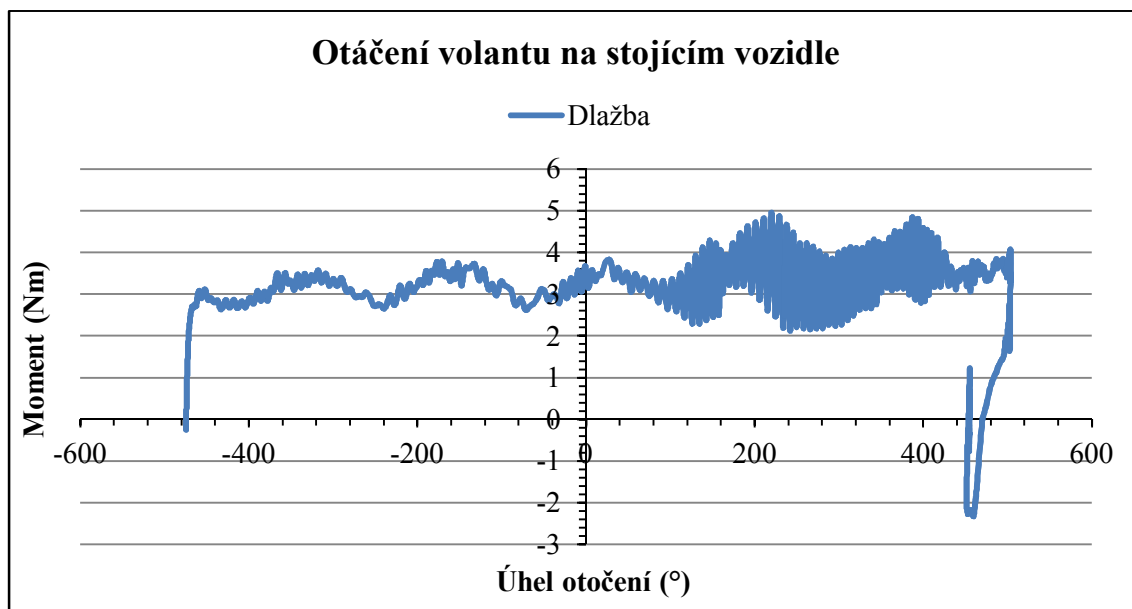
Příloha č. 16



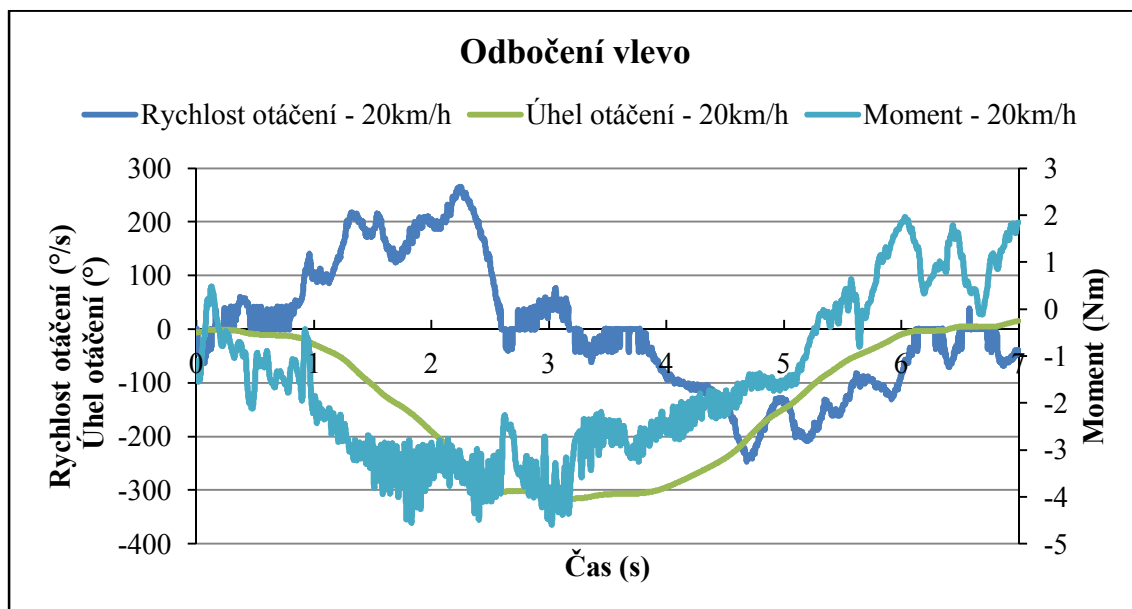
Příloha č. 17



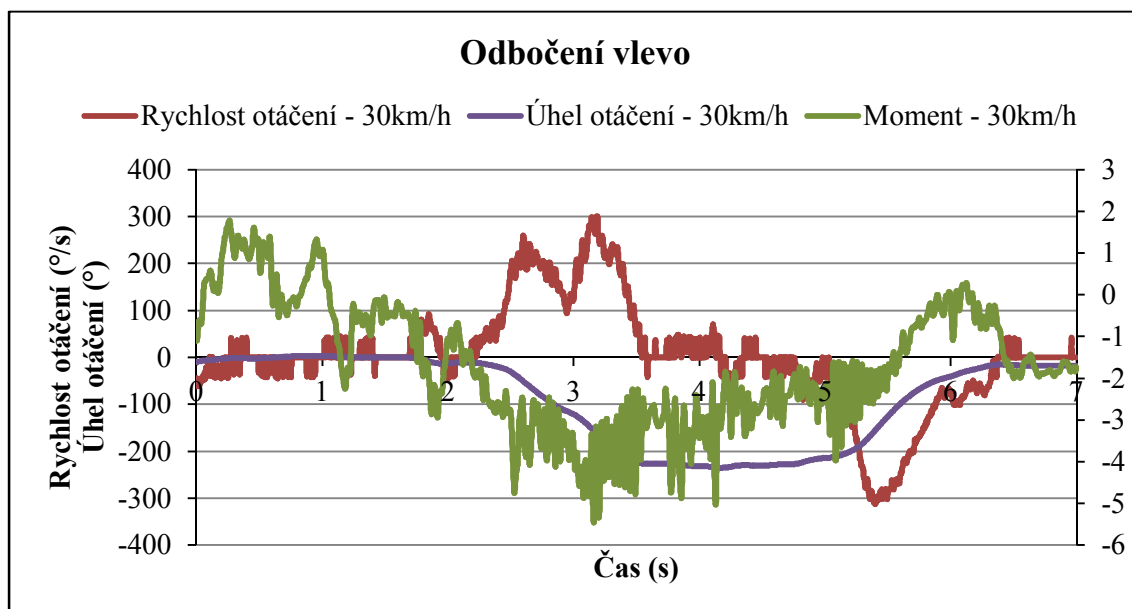
Příloha č. 18



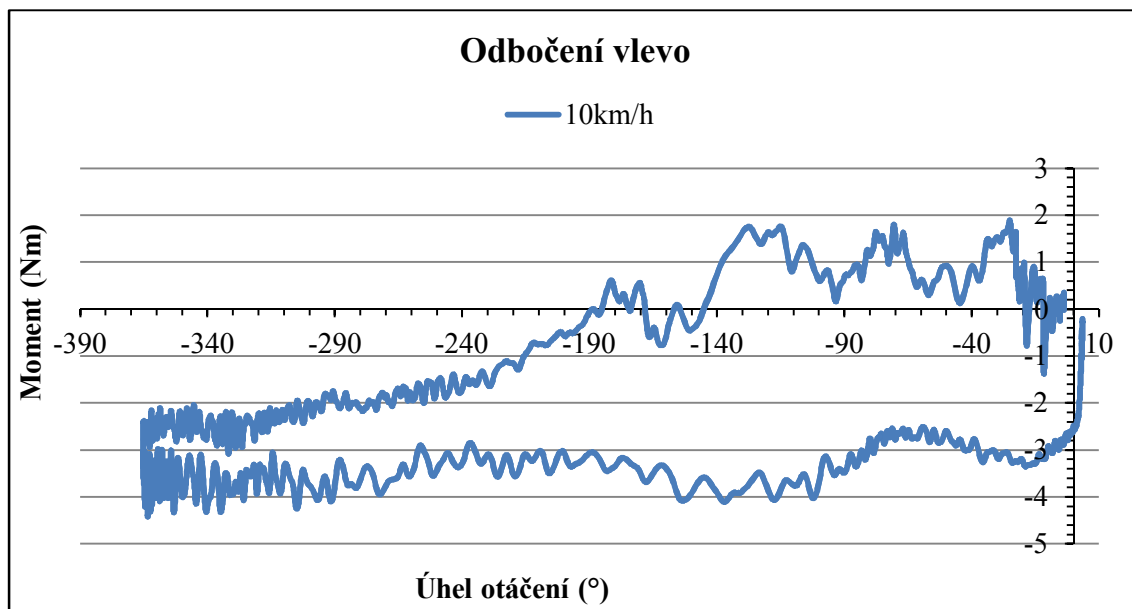
Příloha č. 19



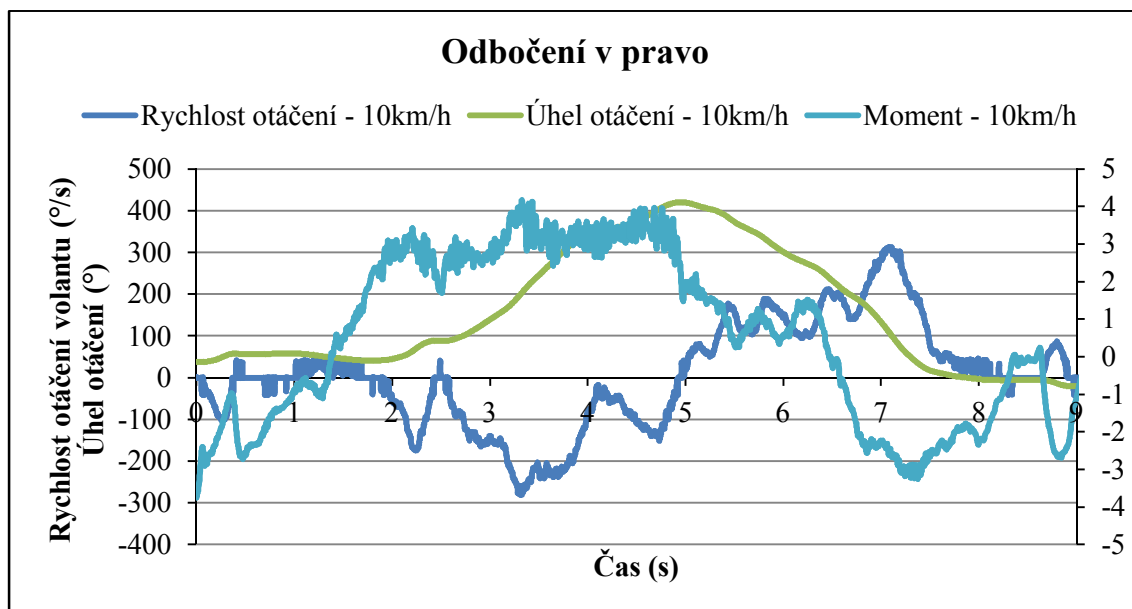
Příloha č. 20



Příloha č. 21

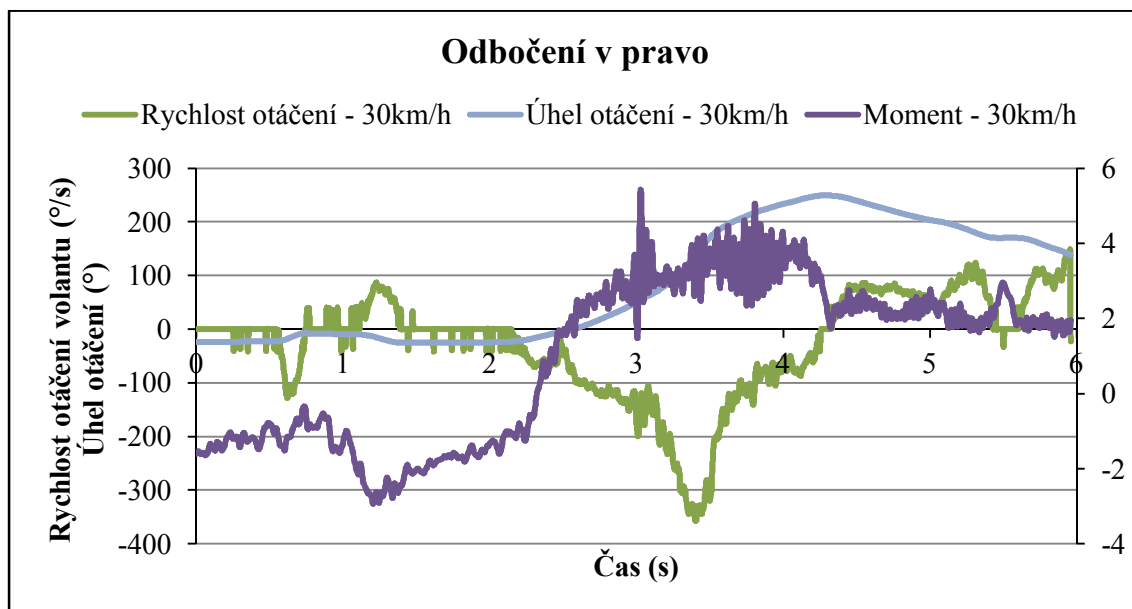


Příloha č. 22

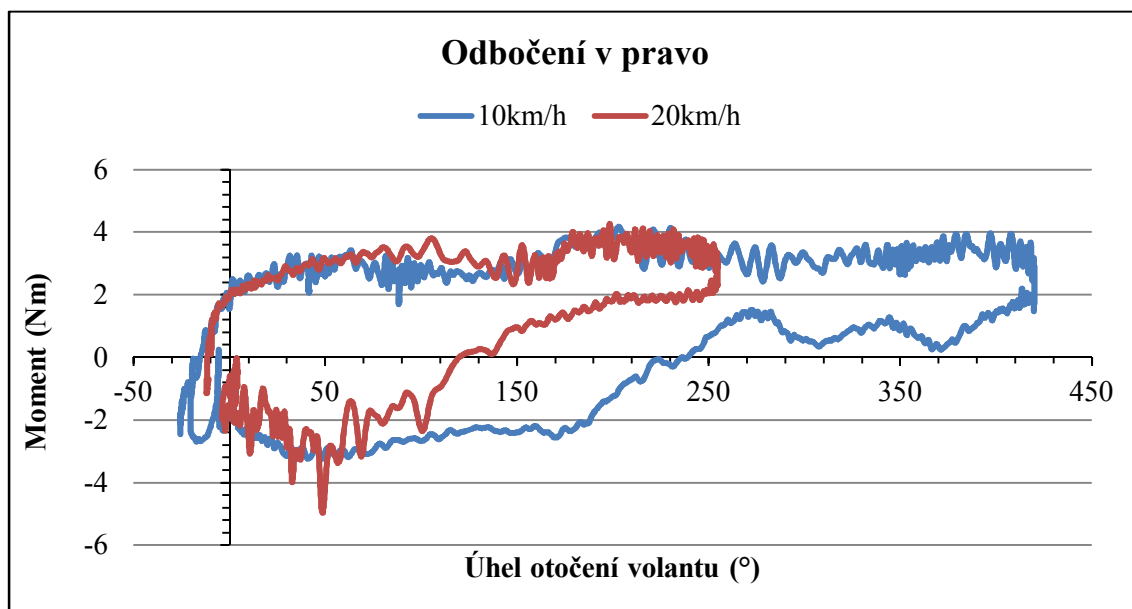




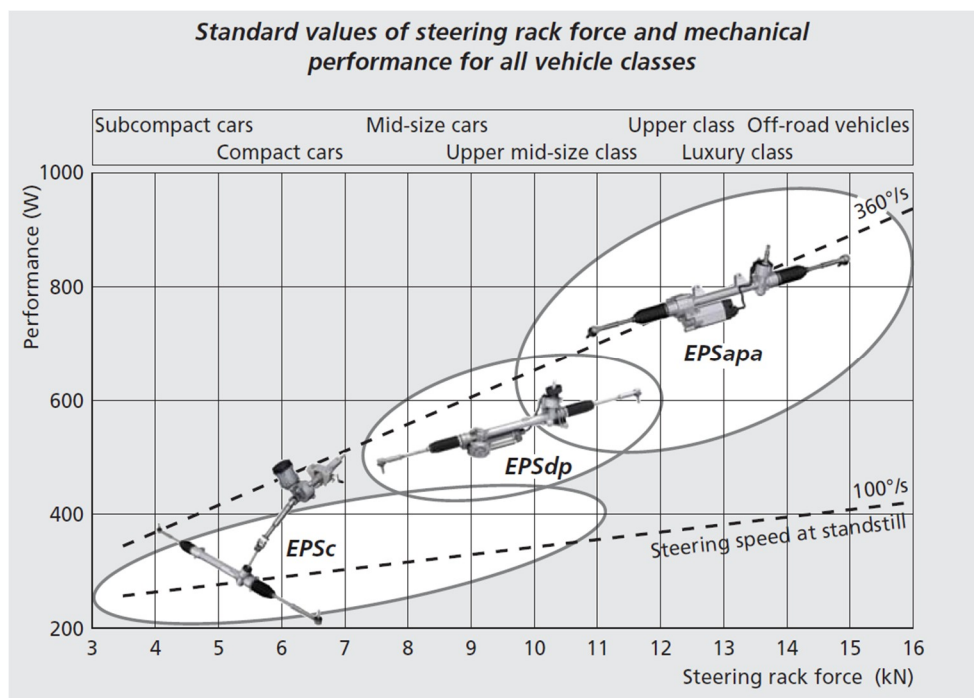
Příloha č. 23



Příloha č. 24



Příloha č. 25



Příloha č. 26

